#AutomatizaciónNonStop

#PaperAER

[La Automatización del siglo XXI al Servicio de la Robótica Industrial]

[Emilio Sánchez (CEIT), Fernando Leon (FANUC), Xavier Nieto (SICK), Albert Casanova (ENCO), Roberto Rubio (CLR), Carlos Méndez (ARITEX)]

[Diciembre de 2024]

Contenido

1 Introducción: la automatización del siglo XXI: de la industria 1.0 a la 6.0 4

2 La robótica en la automatización 6

2.1 Robótica industrial clásica 7

2.2 Robótica colaborativa (brazos robóticos manipuladores) 10

2.3 Robótica móvil (amr/agv) 11

2.4 Robots Colaborativos en Plataformas móviles. 12

3 Sensórica 14

3.1 Calidad de los datos 14

3.2 Tipo de sensórica 14

3.2.1 Sensores fotoeléctricos 15

3.2.2 Rejillas fotoeléctricas 15

3.2.3 Cámaras/visión 16

3.2.4 Detectores de proximidad 17

3.2.5 Sensores de distancia 17

3.2.6 Lectores de RFID/datamatrix 18

3.2.7 Encoders 18

3.2.8 Células de carga 20

3.2.9 Inclinómetros 21

3.2.10 LVDT 22

3.2.11 Sensores de Condition Monitoring 22

3.3 Integración y comunicación de sensores, protocolos abiertos 23

3.4 Ciberseguridad en sensores 24

4 Actuación y transmisión de potencia (Roberto) 25

4.1 Principales componentes y tecnologías 25

4.1.1 Servomotores 25

4.1.2 Actuadores neumáticos e hidráulicos 26

4.1.3 Reductores 26

4.1.4 Transmisión mecánica 28

4.2 Tendencias en la actuación y transmisión de potencia 29

4.3 Aplicaciones destacadas 29

5 La controladora o PLC 30

5.1 Estándares de programación (IEC61131-3): unificación de lenguajes de PLCs 31
5.2 Estándares de motion: PLC-OPEN motion y CiA402 33
6 Comunicaciones 35
6.1 Protocolos de comunicaciones IT para la industria 4.0 (y sucesivas): OPC-UA, MQTT, AMQP, ROS, REST API 37
6.2 Las redes OT: los buses de campo 39
7 Seguridad en dispositivos automáticos 41
7.1 Seguridad (Safety) en dispositivos automáticos 41
7.2 Ciberseguridad (Security) e IoT 42
8 Aplicaciones 44
8.1 Soldadura Puntos y Arco 45
8.2 Aplicación de materiales (Pintura y otros) 47
8.3 Aplicación de sellantes o adhesivos 48
8.4 Alimentación de máquinas 49
8.5 Procesado (Lijado, pulido y otras) 49
8.6 Corte 50
8.7 Montaje y Manipulación 50
8.8 Paletización/manipulado 51
8.9 Trabajos en fundición 53
8.10 Control de Calidad 53
8.11 Otros: Nuevos sectores industriales de aplicación 54
9 Casos de Éxito 55
9.1 Soldadura con Arco con robot colaborativo (programación sencilla) 55
9.2 REEPRODUCE – Desmantelamiento automatizado para la recuperación de tierras raras de productos RAEE 56
9.3 Adelantarte a los problemas de los motores en tiempo real 57
10 Tendencias de la automatización industrial 58
Anexo 61

1 Introducción: la automatización del siglo XXI: de la industria 1.0 a la 6.0

La aparición de la automatización y la robótica han permitido transformar las operaciones industriales. En las últimas décadas la integración de sistemas automatizados y tecnología robótica han revolucionado la fabricación y toda la gestión de la cadena de suministro, influyendo incluso en relaciones geoestratégicas entre países. También han cambiado como concebimos el futuro del trabajo y cuáles son nuestras expectativas como sociedad.

Con este documento queremos explorar el panorama actual de la automatización industrial y la robótica, destacando tanto los avances tecnológicos como las aplicaciones prácticas, comenzando con un poco de Historia:

El inicio de la automatización sucedió durante la Revolución industrial con la mecanización de tareas intensivas en mano de obra.

En 1801 Joseph Marie Jacquard inventa un telar mecánico que mediante tarjetas perforadas conseguía tejer patrones en tela. Esta fue una de las primeras formas de automatización que era una evolución del invento del telar semiprogramable de 1725 de Basile Bouchon[1].

En paralelo se desarrollaban las primeras máquinas de vapor prácticas pudiendo destacar la primera comercializada por James Watt en 1776. Estas máquinas permitían sustituir la fuerza física animal y humana impulsando significativamente la productividad[2].

En el 1913 cabe destacar la introducción de líneas de montaje por parte de Henry Ford en su fábrica de Highland Park, a las afueras de Detroit. Donde partiendo de los principios: piezas intercambiables, flujo continuo, división del trabajo y reducción del esfuerzo desperdiciado consiguió un montaje más eficiente que permitió reducir precios de venta del mítico Ford T a la vez que aumentaba los beneficios[3].

En 1947 John T. Parsons inventa el CNC combinando una fresadora con un sistema de tarjetas perforadas creado por Frank l. Stulen en 1946 adaptando una máquina de contabilidad de IBM para solventar problemas de ingeniería en el diseño de las palas del rotor del helicóptero fabricado por la compañía Parsons[4].

En 1968 General Motors se publica el *Standard Machine Controller* mientras en paralelo Richard E. Morley, de Bedford Associates, diseñaba un controlador digital modular que cumplía esos criterios. En 1969 comenzó la producción del Modicon 084 pudiendo considerar a este el primer PLC.

CNC y PLC han aportado un nivel de e precisión y flexibilidad inimaginables en los inicios de la programación con tarjetas perforadas[5,6].

En 1954 se inicia la era robótica industrial con la aparición del Unimate creado por George Devol. Considerado el primer robot industrial con la capacidad de manipular cargas pesadas fue utilizado por primera vez por General Motors para el ensamblaje de automóviles.

---

[1] https://es.wikipedia.org/wiki/Telar_de_Jacquard
[2] https://www.britannica.com/biography/James-Watt
[3] https://www.pbs.org/wgbh/aso/databank/entries/dt13as.html
[4] https://web.archive.org/web/20080409161021/http://www.invent.org/hall_of_fame/118.html
[5] https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/132632/Revisi%C3%B3n_hist%C3%B3rica_PLC.pdf
[6] https://www.engineering.com/programmable-logic-controllers-the-evolution-of-a-disruptive-technology/

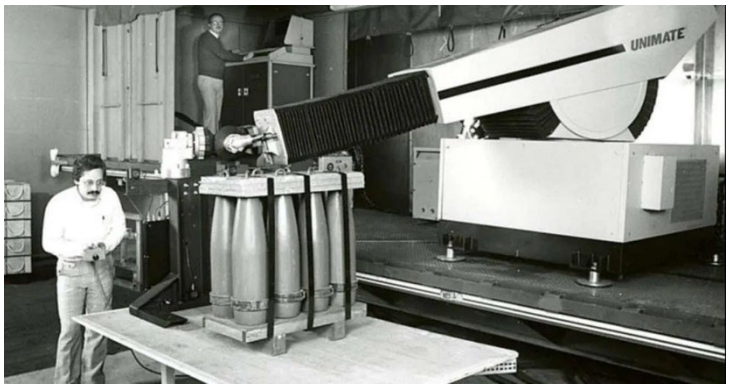


Figura 1: “Unimate” by National Institute of Standards and Technology (public domain)[7,8].

Previamente Isaac Asimov ya había publicado en 1941 las famosas 3 leyes de la robótica[9]:

- **Primera Ley**: Un robot no hará daño a un ser humano, ni por inacción permitirá que un ser humano sufra daño.
- **Segunda Ley**: Un robot debe cumplir las órdenes dadas por los seres humanos, a excepción de aquellas que entren en conflicto con la primera ley.
- **Tercera Ley**: Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la primera o con la segunda ley.

En la Actualidad, los avances tecnológicos en machine learning, inteligencia artificial y sensórica están impulsando la automatización y la robótica a niveles difícilmente imaginables hace solo unos años. Si originalmente eran capaces de sustituir tareas penosas, repetitivas y preprogramadas, hoy ya son capaces de aprender del entorno y experiencia, adaptarse y tomar decisiones en tiempo real. Uniendo esto a la fácil programación y a su accesibilidad aumenta la capacidad para aplicarse en cada vez más sectores.

Los niveles de automatización de la industria de un país influyen de manera crucial en la competitividad económica de los países. Los países con mayores niveles de automatización y robótica son los que obtienen mejores niveles de productividad, eficiencia y entregan productos de mejor calidad. La consecuencia final es una mejor posición económica global que se traduce también en una mejor calidad de vida de sus ciudadanos.

La automatización conduce al desarrollo de nuevas industrias y a la creación de puestos de trabajo altamente cualificados aumentando el crecimiento económico de los países y mejorando la calidad de vida de sus ciudadanos.

Pero para que pueda suceder es imprescindible una fuerza laboral formada en tecnología e ingeniería por tanto es básica la inversión en estas áreas.

Aquello países lentos en la automatización se encuentran en una desventaja competitiva que acaba desembocando con el tiempo a puestos de trabajos de peor calidad y a productos de menor valor añadido. Por ello es imprescindible tener una estrategia como sociedad que nos mantenga al día de todas las tendencias y nos permita desarrollar unas soluciones y aplicaciones.

---

[7] https://medium.com/@masaya.mori/isaac-asimov-and-unimate-the-worlds-first-industrial-robot-7979ef39a56a

[8] https://robotsguide.com/robots/unimate

[9] Asimov posteriormente introdujo la ley cero, de mayor prioridad, y que es igual que la primera ley, pero cambiando las palabras ser humano por humanidad: Un robot no hará daño a la humanidad, ni por inacción permitirá que la humanidad sufra daño.

Como primera conclusión, puede decirse que la automatización y la robótica están cambiando el panorama industrial, ofrecen nuevas oportunidades para la innovación y la eficiencia en la industria y sociedad. Es vital ser capaces de entender las capacidades y potencial, pero también las limitaciones de las tecnologías.

Con este documento queremos ayudarte a comprender mejor la automatización y la robótica en la industria. Mencionando, sin ser exhaustivos, las nuevas tendencias actuales e incluso futuras.

La estructura de este artículo comienza por una contextualización de la robótica en la automatización industrial (capítulo 2). Los siguientes tres capítulos (capítulos 3, 4 y 5) se centran respectivamente en los elementos principales de un sistema automático (sensores, actuadores y PLCs). El capítulo 6 remarca la importancia cada vez mayor de comunicar con eficiencia, robustez y gran ancho de banda no sólo los equipos del sistema automático (redes OT, *Operational Tecnology*) sino también dicho sistema automático con los departamentos de organización de la producción e incluso con la nube (redes IT, *Information Technology*). La obligada interconexión de equipos obliga a que no se pueda obviar el considerar los temas de seguridad (*safety*) y ciberseguridad (*security*) tal y como se aborda en el capítulo 7. Los capítulos 8 y 9 enumeran aplicaciones de la automatización y ejemplos completos de éxito desarrollados por los autores firmantes. Finalmente, el capítulo 10 cierra el documento con conclusiones y reflexiones claves para la automatización en el contexto de la sociedad del siglo XXI.

2 La robótica en la automatización

La automatización se ha convertido en la piedra angular de la industria. Industrias que ya cuentan con un alto grado de automatización, así como aquellas que han tenido poca experiencia hasta ahora, están intensificando su trabajo en la automatización de sus procesos.

El uso de robots permite a las empresas producir de forma continua *estable y flexible adaptándose*. La automatización ayuda a que la producción sea más eficiente y esté preparada para el futuro. Aumenta flexibilidad, permite escalar y contrarresta la escasez de mano de obra. Un número cada vez mayor de pequeñas y medianas empresas también están descubriendo estas ventajas.

En 2023, la economía mundial creció un 3,1% según la OCDE. Aunque este crecimiento es moderado según los estándares históricos, es sin embargo sólido si se tiene en cuenta los factores negativos. En muchos países, el desarrollo económico se vio afectado por los altos precios de la energía, un fuerte aumento de las tasas de interés, una pérdida de poder adquisitivo debido al aumento de la inflación, así como crisis e incertidumbres geopolíticas.

La industria se benefició inicialmente de una fuerte cartera de pedidos a partir de 2022, sin embargo, durante el año 2023 la entrada de pedidos comenzó a desacelerarse y las instalaciones de robots terminaron con una ligera caída con una disminución en 2023 después de un año récord en 2022.

Echemos un vistazo a las cifras clave de 2023:

- El volumen anual de ventas de unidades de robots cayó a 541.302, lo que supone un descenso del 2,1 % en comparación con 2022.
- El Stock Operativo aumentó a 4.281.585 robots (+9,7%)
- Los países en términos de mayor stock operativo son China (41%), Japón (10,2%), Estados Unidos Unidos (8,9%), Corea del Sur (8,9%) y Alemania (6,3%).
- La densidad global de robots (número de robots industriales por cada 10.000 personas empleadas en la industria manufacturera) aumentó de 151 a 162. Los países con mayor densidad de robots son Corea (1.012), China (470), Alemania (429) y Japón (419).

- El segmento industrial más grande fue el de Automoción con 135.461 instalaciones, seguido de Electrónica con 125.804.
- A nivel nacional vemos un panorama inconsistente. El mercado más grande China disminuyó un -4,8% terminando con 276.288 unidades. Además de China, el mercado también bajó en otros mercados de volumen como Japón (-8,6%), EE.UU. (-5%), Corea -1%) y algunos países más. Por otro lado, la evolución positiva del mercado se registró por parte de otros países, como, por ejemplo, para India (+59%), Alemania (+6,6%), Brasil (+77,6) y España (+31%).

China había sido durante mucho tiempo un mercado en crecimiento y un motor del mercado mundial de la robótica. Sin embargo, la economía china estaba pasando apuros en 2023, lo que resulta en un mercado en declive por primera vez desde 2009 en China. Fuera de China, el mercado incluso creció ligeramente. El crecimiento en Europa y América del Norte estuvo claramente impulsado por la automoción. En 2024, la incertidumbre de la economía global seguirá afectando a la industria de la automatización. Los expertos suponen que el mercado de la automatización basada en robots disminuirá en 2024 debido a la actual débil economía mundial en los principales mercados. Esto ya se refleja a corto plazo en las previsiones de ventas para todas las regiones. El IFR pronostica una CAGR sostenida del 4%, lo que resultará en un número previsto de robots instalaciones de 601.600 unidades para 2027. Sin embargo, la tendencia a largo plazo en la industria de la automatización se considera positiva.

La demanda de automatización basada en robots está siendo impulsada por diversos factores tecnológicos. avances en el campo de la Inteligencia Artificial (IA) y el aprendizaje automático, pero también cuando se trata de cobots que se expanden a nuevas aplicaciones, programación simplificada, dispositivos móviles manipuladores, gemelos digitales y robots humanoides.

Estas tendencias no sólo se refuerzan entre sí. Muestran claramente que la robótica consiste en diferentes disciplinas. Las tecnologías probadas están alcanzando un cierto nivel de madurez, mientras se están agregando tecnologías innovadoras para proporcionar nueva inspiración y abrir nuevas posibilidades. Esto permite automatizar un número creciente de tareas y los procesos y el mercado de la automatización atraen cada vez a más empresas.

Frente a esta dinámica, somos optimistas de ver un crecimiento continuo del mercado de la automatización, incluso si las previsiones a corto plazo son más conservadoras que hace algunos hace años.

Cada vez los límites entre las diferentes clasificaciones de robots son más complejos. En este artículo, se ha optado por una clasificación tradicional en los últimos años y distinguimos entre *robots industriales clásicos, robots colaborativos, robots móviles y robots integrados en plataformas móviles*. Descartamos por ahora los robots humanoides, de servicios, médicos y otros tipos de robots no utilizados en fábricas industriales.

2.1 Robótica industrial clásica

Según la norma internacional ISO 8373:2012, un robot industrial es un manipulador multifuncional, reprogramable y controlado automáticamente, programable en tres o más ejes, que puede estar fijo en un área o ser móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial. Desde esta definición de 2012 la robótica ha evolucionado mucho y esta definición tan general ha sido sobrepasada por los avances tecnológicos de mecánica, electrónica y software a lo largo de estos años. Las diferencias entre los diferentes tipos de robots son más difusas cada día.

Dentro de la robótica industrial clásica seguimos históricamente teniendo diferentes subdivisiones. El Comité de Proveedores de Robots de IFR decidió en 2004 que los tipos de robots deberían clasificarse por su estructura mecánica:

- **Robot articulado**: un robot cuyo brazo tiene al menos tres articulaciones giratorias. Los más habitual actualmente son los de 6 articulaciones conocidos como antropomórficos por simular un brazo humano.

Figura 2: Robot antropomórfico[10].

- **Robot cartesiano** (lineal/pórtico): robot cuyo brazo tiene tres articulaciones lineales y cuyos ejes están correlacionados con un sistema de coordenadas cartesianas.

Figura 3: Robot cartesiano[11].

- **Robot cilíndrico**: un robot cuyos ejes forman un sistema de coordenadas cilíndrico. Normalmente tienen un eje vertical y varios angulares. Estos robots son cada vez menos frecuentes en la industria.

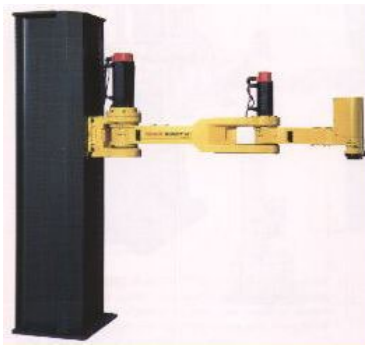


Figura 4: Robot cilíndrico[12].

- **Robot paralelo**: También conocidos como robots Delta son robots cuyos brazos tienen juntas prismáticas o rotativas concurrentes.

[10] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[11] Fuente: https://es.gudel.com/
[12] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.

Figura 5: Robot paralelo-delta[13].

- **Robot SCARA**: un robot que tiene dos o más ejes rotatorios paralelos para poder mantener el movimiento paralelo a un plano.

Figura 6: Robot SCARA[14].

- **Otros robots**: robots no cubiertos por una de las clases anteriores

Hay bastante confusión en la definición de tipos de robots. Una nueva norma ISO 8373:2021 define los términos utilizados en relación con el vocabulario usado en robótica. Las definiciones se relacionan con la robótica industrial, la robótica de servicios y la robótica médica.

Según ISO 8373:2021, un robot es un "mecanismo accionado programado con un grado de autonomía, para realizar movimientos, manipulación o posicionamiento". Mecanismos que utilizan tecnología robótica pero que no satisfacen la definición de robots, son, por ejemplo, los manipuladores teleoperados que se denominan dispositivos robóticos (ver siguiente figura).

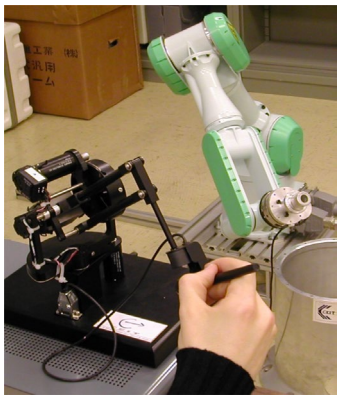


Figura 7: Ejemplo de sistema de teleoperación[15].

[13] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[14] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.

[15] Fuente: CEIT

Un robot de servicio es un robot que realiza tareas útiles para humanos fuera del entorno industrial. A veces dentro de los robots de servicio y cada vez más se están incluyendo robots del sector médico que algunos consideran una nueva clase dentro de los robots de servicios.

En resumen, entendemos por robot industrial un robot multipropósito, reprogramable y controlado automáticamente. Manipulador programable en tres o más ejes, que puede ser fijo o fijado a una plataforma móvil para su uso en aplicaciones de automatización en un *entorno industrial*.

2.2 Robótica colaborativa (brazos robóticos manipuladores)

Los **robots industriales colaborativos** o ***cobots*** están diseñados para realizar tareas en el mismo espacio de trabajo que el trabajador humano. Las posibilidades varían desde un espacio de trabajo compartido con o sin contacto directo humano-robot o con sincronización de tareas, entre robot y humano. Actualmente, los miembros de IFR consideran que las aplicaciones de robots colaborativos más comunes son en espacios de trabajo compartidos. Aplicaciones donde el robot y el empleado trabajan juntos, completando tareas, secuencialmente.

Figura 8: Ejemplos de robots colaborativos [16,17,18,19].

No obstante, se establecen hasta 5 niveles de colaboración operario-robot (HRC, Human-Robot-Cooperation):

[16] Imagen arriba-izquierda, fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[17] Imagen arriba-derecha, fuente: CEIT
[18] Imagen abajo-izquierda: CEIT
[19] Imagen abajo-derecha: CEIT

- **Nivel 1 - Célula**: El operario y el robot trabajan en diferentes células.
- **Nivel 2 – Coexistencia**: El operario y el robot están en el mismo entorno, pero no interactúan.
- **Nivel 3– Sincronización**: El operario y robot trabajan en el mismo espacio en momentos diferentes.
- **Nivel 4 – Cooperación**: El operario y robot trabajan en el mismo espacio de trabajo al mismo tiempo, pero realizan distintas tareas.
- **Nivel 5 – Colaboración**: El operario y robot llevan a cabo tareas juntos.

Obviamente, esta caracterización de las aplicaciones colaborativas es muy amplia y es difícilmente aplicable para la estadística. Por lo tanto, el Departamento de Estadística IFR ha reducido la definición de robot industrial colaborativo y ofrece lo siguiente separación de los robots industriales tradicionales: Un robot industrial colaborativo es un robot industrial que está diseñado de conformidad con ISO 10218-1 y está destinado al uso colaborativo.

Nuevos proveedores de robots de todo el mundo han entrado en el mercado. Con más cobots vendidos y utilizados, la variedad de aplicaciones también ha crecido. La programación de robots se ha vuelto más fácil y accesible para los no expertos, y los proveedores de cobots estuvieron entre los primeros en implementar interfaces fáciles de usar en sus productos para simplificar la programación y la operatividad.

2.3 Robótica móvil (amr/agv)

La robótica móvil se dedica al diseño, construcción y programación de robots capaces de moverse de manera autónoma en diversos entornos para realizar tareas complejas. Estos robots, equipados con sensores, actuadores y avanzados sistemas de control, destacan por su capacidad para interactuar con el mundo físico y operar de forma segura, tanto para los trabajadores como para el entorno. Gracias a su autonomía y versatilidad, los robots móviles pueden adaptarse fácilmente a diferentes flujos logísticos e industriales, lo que los hace ideales para sectores como la industria, la sanidad, la agricultura y la logística. En la última década, España ha experimentado un notable crecimiento en este campo, posicionándose como líder con un incremento del 45% en el número de empresas especializadas en robótica móvil, según el informe de HowToRobot[20] y AER Automation de 2022[21]. Este crecimiento es significativo, superando el aumento del 31% en proveedores y fabricantes de robots y automatización en el mismo período, lo que subraya la importancia y el potencial de la robótica móvil en la economía española.

Las tecnologías clave en la robótica móvil incluyen sistemas de comunicación robustos, baterías de alta capacidad, inteligencia artificial (IA), software como el Sistema Operativo de Robots (ROS) y medidas de ciberseguridad. La IA permite a los robots percibir su entorno y tomar decisiones autónomas, mientras que ROS facilita la localización, mapeo y navegación autónoma. La ciberseguridad es crucial para proteger estos sistemas de amenazas externas. Al mismo tiempo, la sensórica es fundamental para la navegación y operación de los robots móviles. Los sensores LiDAR y las cámaras 1D, 2D y 3D permiten a los robots crear representaciones tridimensionales del entorno, detectar obstáculos y navegar de manera segura. Estas tecnologías son esenciales para la percepción y toma de decisiones en tiempo real (ver siguiente figura).

[20] https://howtorobot.com/

[21] https://www.aer-automation.com/automation_review/las-ventas-en-espana-de-robots-industriales-y-de-servicio-crecen-un-25-y-26-respectivamente-en-2022/

Figura 9: AMR equipado con cámaras (Izquierda)[22] y AMR transportando un pallet (derecha)[23].

La robótica móvil está revolucionando la fabricación flexible, permitiendo una producción más personalizada y eficiente. Los robots móviles facilitan la adaptación de las líneas de producción a nuevas demandas del mercado, mejorando la eficiencia y reduciendo costos. Pueden realizar múltiples tareas, desde el transporte de materiales hasta la manipulación de objetos, aumentando la flexibilidad y capacidad de respuesta de las fábricas. En la industria, los robots móviles se utilizan para el transporte y manipulación de materiales.

Los tipos más conocidos son los AGV's y los AMR. La principal diferencia entre un AGV vs AMR es que los AMR utilizan navegación libre mediante láseres, mientras que los AGV se localizan con elementos fijos: cintas magnéticas, imanes, balizas… es decir, para que sean eficaces, deben tener una ruta predecible.

Los AGV y AMR tienen distintas aplicaciones. Por lo general, los AGV son más eficaces para tareas menos complejas como el transporte de materias primas, el embalaje, la clasificación o la entrega, pero siempre con tareas y rutas predeterminadas. Los AMR suelen ser mejor opción para tareas más complejas.

El término robots móviles autónomos (AMR) es terminología de marketing y no está definido en la ISO 8373:2021. Parece haber una amplia gama de productos bajo esta etiqueta.

Normalmente, AMR se utiliza como sinónimo de *robots móviles con ruedas* pero limitado a aplicaciones profesionales. La definición ISO de robot móvil es más integral e incluye cualquier *robot capaz de viajar bajo su propio control*, donde este desplazamiento puede realizarse sobre ruedas, piernas o arrastrándose.

A veces, estos AMR se utilizan en entornos industriales, pero normalmente ni tienen tres ejes ni tienen capacidad de manipulación. Por lo tanto, ellos no satisfacen la definición de robot industrial. IFR clasifica a AMR como robots de servicio.

2.4 Robots Colaborativos en Plataformas móviles.

El un robot colaborativo en plataforma móvil consiste en un brazo robótico colaborativo embarcado sobre un AMR/AGV junto con un ecosistema de software entorno a él (ver siguiente figura). Este tipo de robot también suelen ser denominados **MoMa (MObile MAnipulator, MAnipulador MÓvil)**.

La principal aplicación de este tipo de dispositivos es incrementar el nivel de automatización de la fábrica en sectores que a fecha de hoy la automatización tiene baja penetración, como puede ser la intralogística y machine tending. En estos escenarios el robot puede trasladar materias primas, productos en proceso de

[22] Fuente: CEIT
[23] Fuente: KUKA

fabricación[24] o incluso buscar piezas de reemplazo de máquinas (como por ejemplo un cabezal de corte para un CNC[25]). En cualquier caso, el MoMa podrá hacer la tarea o bien de forma autónoma o bien como asistente de un operario humano.

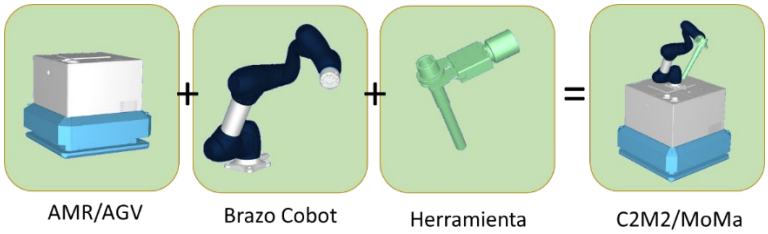


Figura 10: Elementos constitutivos de un robot colaborativo sobre plataforma (o MoMa)[26].

Figura 11: Ejemplos de MoMas[27].

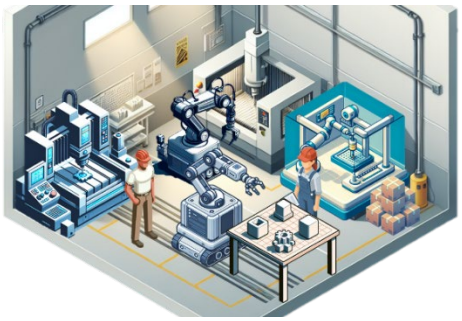


Figura 12: Escenario de fábrica donde un MoMa se convierte en un recurso más de la fábrica donde puede él trabajar sólo o en colaboración de otros operarios humanos[28].

Desde un punto de vista de escalado, es natural llegar a pensar que un MoMa crea la necesidad del despliegue de un gestor de flotas de forma que coordine todos los agentes robóticos[29]

[24] Proyecto EIT-2022- 23166, MoMaFlex: Development of Intelligent Middleware to enable collaborative robots to make real-time decisions in manufacturing plants
[25] Proyecto HAZITEK ZE-2022/00009, FIDATU: Tu Fábrica Inteligente Digital Aeronáutica, Proyecto CER-20231003 FABRICARE: Fabricación colABorativa, seguRa e Inteligente mediante interfaCes Avanzados, Robótica y gEmelos digitales
[26] Fuente: (CEIT)
[27] Fuente: izquieda y centro (CEIT), derecha (KUKA)
[28] Fuente: (CEIT)
[29] Proyecto: HAZITEK ZE-2023/00024, AZKARTU: Plataforma de procesamiento masivo de datos en tiempo real basada en tecnologías multi-access edge computing en 5G

En este punto se concluye el concepto de fábrica flexible donde ya no hay largas cintas que llevan el producto de una a otra estación ubicadas en serie. Ahora se tienen islas automatizadas, independientes entre sí, interconectadas por AGVs/AMRs/MoMas.

En los últimos años, la combinación de brazos robóticos (robots articulados) y los robots móviles autónomos (AMR) se han hecho más populares.

Si el AMR está equipado con un brazo robótico (es decir, un robot articulado), las estadísticas IFR cuentan el manipulador como robot industrial y la plataforma como robot de servicios.

3 Sensórica

La sensórica se convierte en los ojos de la industria y dónde nacen los datos que posteriormente serán analizados en fin de la eficiencia y mejora del proceso. Juegan un papel relevante y forman parte de la base del tejido de datos. Es importante destacar la calidad de los datos y su mantenimiento posterior correcto una vez instalados.

En este apartado se quiere destacar su importancia y los tipos de sensores que permiten crear estos datos. Sin una buena calidad de datos, las decisiones de negocio se pueden ver claramente afectadas.

3.1 Calidad de los datos

La calidad de los datos es imprescindible para el buen rendimiento, precisión y confianza de todos los sistemas de datos empresariales y de procesos. Deben ser consistentes, precisos y representativos de los procesos de la planta industrial. Con los datos, llegas a la eficiencia que será un tema estratégico en 1 mundo globalizado y con recursos finitos.

La calibración de los sensores, el mantenimiento regular de los mismos, la reducción e interferencias y el control de ruido son vitales para evitar errores que pueden impactar el sistema de datos. Supervisar la calidad de los datos, mediante técnicas de análisis y validación, permite la detección de los problemas a tiempo y mejorar la capacidad de la respuesta antes posibles fallos, aumentando la productividad y rendimiento de las empresas.

Otro aspecto importante es mantener actualizados si los equipos llevan una electrónica interna que te permita realizar una actualización. Tener los equipos con las últimas funcionalidades, te permitiría tener todas las funciones disponibles del fabricante y también ser relevante para el tema de ciberseguridad porque la no actualización conlleva a abrir la puerta mediante fallos de código.

Finalmente, tener un inventario que te permita saber, qué equipos de sensórica hay en planta y poder actuar al respecto. Tener identificados los equipos, te permitirá una fácil detección de los equipos en planta, actualizaciones disponibles o acciones adicionales de la parte de servicio del fabricante.

Es vital que la capa de datos sea de buena calidad porque las mejores decisiones se tomarán gracias a ellos.

3.2 Tipo de sensórica

En esta sección, se examinarán los diferentes tipos de sensores utilizados en máquinas automatizadas. Los sensores fotoeléctricos y las rejillas fotoeléctricas se emplean para la detección de objetos y barreras de seguridad, mientras que las cámaras y sistemas de visión proporcionan capacidades avanzadas de análisis e inspección visual. Los detectores de proximidad y sensores de distancia son cruciales para el posicionamiento de productos y la medición de espacios. Los encoders ofrecen información sobre la posición y velocidad de movimiento de componentes. Los lectores de RFID y Datamatrix permiten la

identificación y seguimiento de productos, aportando eficiencia en la gestión de inventarios. Las células de carga miden fuerzas y pesos, los inclinómetros evalúan ángulos y niveles, y los LVDTs proporcionan mediciones de desplazamiento lineal con alta precisión. Finalmente, los sensores de condition monitoring supervisan el estado de las máquinas, alertando de posibles fallos antes de que ocurran. Estos sensores, cada uno con sus características y aplicaciones específicas, son fundamentales para optimizar el rendimiento, así como cerrar el lazo de control y la seguridad de los sistemas automatizados en diversos sectores industriales.

3.2.1 Sensores fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos son dispositivos que usan luz para identificar la presencia, distancia o tamaño de objetos para aplicaciones de detección, calidad o clasificación. Funcionan mediante emitir 1 haz de luz láser, infrarroja o led desde un emisor hacia un receptor, reflector o en directo. Si el haz se interrumpe o se refleja, el sensor detecta un cambio en la señal, lo que permite identificar la presencia del objeto.

Existen varios tipos, como los de barrera (emisor y receptor separados), los reflectivos (con un reflector) y los de detección directa (donde el propio objeto refleja la luz).

Son comunes en aplicaciones industriales debido a su precisión y rapidez, se emplean en tareas como el conteo de productos, detección de posición y monitoreo de procesos en cintas transportadoras.

Pueden tener salidas PNP, NPN, Push-Pull o salidas de 0-10 Voltios o 4-20 mA. También existe la posibilidad de comunicación a través de protocolos abiertos.

Figura 13: W10 en funcionamiento, sensor con pantalla táctil que te permite detectar objetos de 0,01mm[30].

3.2.2 Rejillas fotoeléctricas

Las rejillas fotoeléctricas, también conocidas como cortinas o barreras fotoeléctricas, son sistemas compuestos por múltiples haces de luz paralelos que se utilizan para detectar la presencia o paso de objetos a través de un área específica. Por ejemplo, permiten detectar o medir cajas. Cada haz de luz se puede evaluar por separado.

Funcionan mediante un emisor que envía varios haces de luz hacia un receptor; cuando uno o más haces se interrumpen, el sistema detecta la intrusión o presencia del objeto en la zona de detección. Son muy útiles en aplicaciones de seguridad industrial para proteger áreas peligrosas, como en máquinas de prensado o robots industriales, al detener su funcionamiento si una persona entra en el área protegida.

[30] Fuente: https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/sensores-de-deteccion/fotocelulas/w10/c/g555761

También se emplean en control de calidad, conteo de productos y clasificación en líneas de producción, ofreciendo alta precisión y una rápida respuesta. La integración con PLC exige tener una respuesta rápida y fiable.

Pueden tener salidas PNP, NPN, Push-Pull o salidas de 0-10 Voltios o 4-20 mA. También existe la posibilidad de comunicación a través de protocolos abiertos.

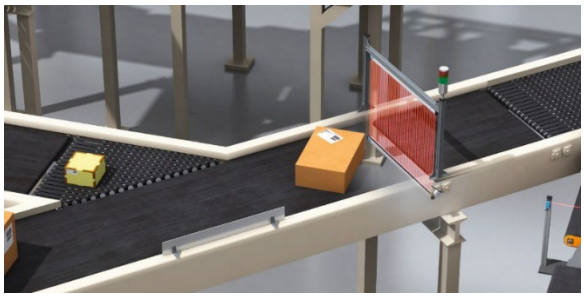


Figura 14: MLG para medición de cajas que te permite verificar en el PLC si tienen las medidas correctas[31].

3.2.3 Cámaras/visión

Las cámaras y los sistemas de visión artificial son tecnologías de detección avanzada que capturan y procesan imágenes para analizar características de objetos o áreas, permitiendo tomar decisiones en tiempo real en entornos industriales.

Estos sistemas usan cámaras de alta resolución junto con inteligencia artificial con el fin de identificar defectos, medir dimensiones, verificar alineaciones o clasificar productos según criterios específicos.

La visión artificial es ampliamente usada en líneas de producción, inspección de calidad y control de procesos, ya que permite una precisión elevada y permite automatizar tareas complejas que serían difíciles o lentas de realizar manualmente.

Con el avance de la inteligencia artificial, los sistemas de visión han mejorado en velocidad y precisión, lo que los convierte en herramientas esenciales para la fabricación inteligente y personalizada.

Las grandes cadenas alimentarias son gran prescriptores de estas soluciones porque exigen unas grandes ratios de calidad en sus productos usando estas herramientas.

Figura 15: Porfolio de visión desde la plataforma NOVA y todos los modelos Inspector [32].

[31] Fuente: https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/sensores-de-deteccion/rejillas-fotoelectricas/mlg-2/c/g543486

[32] Fuente: https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/procesamiento-industrial-de-imagenes-e-identificacion/procesamiento-industrial-de-imagenes/inspector83x/c/g584000

3.2.4 Detectores de proximidad

Los sensores de proximidad son dispositivos que permiten identificar la presencia de objetos cercanos sin contacto físico. Es importante destacar que, en este tipo de sensores, la distancia es bastante inferior al otro tipo de sensores, pero tienen una gran robustez en ambientes corrosivos.

Estos sensores se activan cuando un objeto entra en su zona de detección, siendo muy utilizados en aplicaciones de automatización industrial.

Existen diferentes tipos de detectores de proximidad dependiendo de su funcionamiento: inductivos, que responden a materiales metálicos; capacitivos, que pueden detectar tanto objetos metálicos como no metálicos; ultrasónicos, que emplean ondas sonoras para medir distancias; y magnéticos, que detectan la presencia de imanes.

Son ideales para tareas como el control de posición en líneas de montaje, detección de nivel en tanques, y conteo de objetos. Su precisión y confiabilidad los hacen fundamentales en la optimización de procesos industriales.

Pueden tener salidas PNP, NPN, Push-Pull o salidas de 0-10 Voltios o 4-20mA. También existe la posibilidad de comunicación a través de protocolos abiertos.

Figura 16: IMB, sensor que te permite detectar sin contacto[33].

3.2.5 Sensores de distancia

Los sensores de distancia son dispositivos de medición de distancia que calculan la separación entre el sensor y un objeto o superficie mediante tecnologías como láser, ultrasonido o infrarrojo. Funcionan emitiendo una señal que se refleja en el objeto y regresa al sensor; el tiempo que tarda esta señal en regresar permite calcular la distancia con gran precisión.

Los telémetros láser, por ejemplo, son altamente precisos y se utilizan en aplicaciones que requieren mediciones exactas y rápidas, como la inspección de piezas, posicionamiento en maquinaria de precisión, construcción y topografía.

Los sensores ultrasónicos, por su parte, son útiles en aplicaciones de corto alcance y en entornos con alta humedad o polvo. La versatilidad y precisión permiten que sean una herramienta indispensable en la automatización y el control industrial.

Pueden tener salidas PNP, NPN, Push-Pull o salidas de 0-10 voltios o 4-20mA. También existe la posibilidad de comunicación a través de protocolos abiertos o buses de campo.

[33] Fuente: https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/sensores-de-deteccion/sensoes-de-proximidad-inductivos/imb/c/g308651

Figura 17: DT50, sensor que te permite ver la distancia mediante el haz de luz láser[34].

Figura 18: Serie D, sensor que te permite ver la distancia mediante el haz de luz láser con o sin hoja reflectante hasta 500 metros[35].

3.2.6 Lectores de RFID/datamatrix

La tecnología **RFID** (Radio Frequency Identification) y los códigos **Data Matrix** son sistemas de identificación y seguimiento ampliamente utilizados en industria para el control de inventario, trazabilidad y gestión de activos. Ambas tecnologías facilitan la automatización de procesos, mejoran la precisión en el seguimiento y aumentan la eficiencia en la gestión de datos en entornos industriales.

- **RFID**: utiliza etiquetas con electrónica interna que almacenan datos y antenas que transmiten esta información a un lector mediante ondas de radio, permitiendo identificar objetos sin contacto directo y sin requerir línea de visión. Las etiquetas RFID son duraderas y pueden leerse a distancias mayores, siendo ideales para la gestión de almacenes, la identificación de productos en tiempo real y el seguimiento logístico.
- **Data Matrix**: es un código de barras bidimensional que almacena la información en una pequeña cuadrícula de celdas blancas y negras. Es capaz de contener grandes volúmenes de datos en poco espacio y se puede leer con rapidez, incluso si está dañado o parcialmente cubierto.

Este código es común en la industria farmacéutica, automóvil y electrónica, porque permite identificar piezas y productos de forma rápida y precisa, asegurando trazabilidad y control de calidad a lo largo del ciclo de producción.

3.2.7 Encoders

Los **encoders** son dispositivos de sensores que convierten el movimiento (rotacional o lineal) en señales eléctricas, las cuales pueden ser leídas por sistemas de control, como microcontroladores o PLCs. Su función

[34] Fuente: https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/sensores-de-distancia/sensores-de-distancia-laser/dx50/c/g176381
[35] Fuente: https://dimetix.com/en/?product=d-series

principal es proporcionar información precisa sobre la posición, velocidad o dirección de un objeto en movimiento, lo cual es esencial para tareas de control en sistemas automatizados. Existen principalmente dos tipos de encoders:

- Los **encoders absolutos** proporcionan una posición única para cada ángulo de rotación o desplazamiento, permitiendo conocer la posición exacta en cualquier momento, incluso después de una pérdida de energía. Esto se logra mediante un sistema de codificación que asigna un valor específico a cada posición del eje, lo que asegura que siempre se pueda identificar la ubicación correcta sin necesidad de un punto de referencia inicial.
  La comunicación de los encoders absolutos suele realizarse mediante buses de campo, como SSI (Synchronous Serial Interface), Profinet, Ethernet IP, y otros protocolos industriales. Estos buses permiten una transmisión de datos eficiente y confiable entre el encoder y el sistema de control, facilitando la integración en entornos automatizados. Gracias a su capacidad para proporcionar información continua sobre la posición, los encoders absolutos son especialmente útiles en aplicaciones donde se requiere un control preciso y confiable, como en sistemas de robótica, AGV y aplicaciones de automatización industrial, entre otras.
- Los **encoders incrementales** generan pulsos para contar el desplazamiento desde una posición de referencia. Sus señales suelen ser digitales de cuadratura, con salidas en configuraciones Push-Pull (HTL) o Line-Driver (TTL), y algunos ofrecen salida analógica de 1Vpp, ideal para aplicaciones que requieren alta precisión a larga distancia.
  Además de los canales A y B, incluyen un canal Z, que marca una posición de referencia por revolución, mejorando la confiabilidad con señales diferenciales que reducen el ruido en entornos industriales. Estas características permiten a los encoders ofrecer precisión y resistencia a interferencias en aplicaciones críticas.

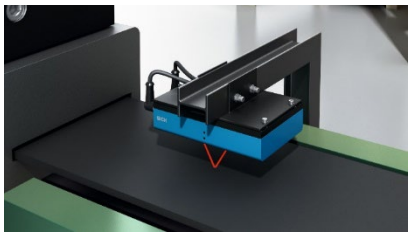


Figura 19: Speetec en funcionamiento, encoder láser[36].

Figura 20: IZARC Encoder rotativo absoluto com memoria multivuelta sin bateria ni engranages[37].

[36] Fuente: https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/sensores-motion-control/sensores-de-movimiento-sin-contacto/speetec-1d/c/g550876?tab=overview
[37] Fuente: https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/sensores-motion-control/sensores-de-movimiento-sin-contacto/speetec-1d/c/g550876?tab=overview

3.2.8 Células de carga

Las células de carga son dispositivos de medición que convierten la fuerza o el peso en una señal eléctrica, permitiendo medir la carga aplicada sobre ellas con gran precisión. Funcionan mediante el principio de deformación; cuando se aplica una carga, la célula se deforma ligeramente y esta deformación se traduce en un cambio en la resistencia eléctrica, que puede ser medido y convertido en una señal proporcional al peso. Existen diferentes tipos de células de carga, siendo las más comunes:

- **Células de carga de galgas extensiométricas:** Utilizan galgas extensiométricas adheridas a un material elástico. Estas galgas cambian su resistencia cuando se deforma, lo que permite medir con precisión la carga.
- **Células de carga piezoeléctricas:** Generan una carga eléctrica cuando se aplica una presión. Son muy sensibles y se utilizan principalmente en aplicaciones donde se requiere medir fuerzas dinámicas.
- **Células de carga hidráulicas:** Utilizan un sistema de líquido para medir la fuerza. La presión del líquido dentro de la célula se traduce en un valor de peso.

Para gestionar y procesar los datos obtenidos de las células de carga, es necesario utilizar un amplificador o colector de datos. Estos dispositivos amplifican la señal eléctrica generada por la célula, ya que estas señales suelen ser débiles y requieren ser fortalecidas para un procesamiento adecuado. Los colectores de datos también permiten la digitalización de la señal, facilitando su integración en sistemas de control y monitoreo.

Las células de carga tienen diversas aplicaciones en el ámbito de la automatización y la robótica, tales como:

- **Control de fuerza en robots:** Permiten a los robots medir la fuerza aplicada durante tareas de agarre o manipulación, mejorando la precisión y evitando daños en los objetos manipulados.
- **Sistemas de pesaje automático:** Utilizadas en líneas de producción automatizadas para garantizar que los productos cumplan con los requisitos de peso, lo que es esencial en el control de calidad.
- **Monitorización de carga en grúas y robots móviles:** Ayudan a asegurar que las cargas no excedan los límites seguros, optimizando así la operación de grúas y vehículos autónomos en entornos industriales.
- **Interacción humano-robot (HRI):** Facilitan el desarrollo de robots colaborativos que pueden interactuar de manera segura con humanos, al medir fuerzas y ajustar su comportamiento en consecuencia.
- **Ensayos de materiales:** En laboratorios automatizados, se utilizan para evaluar las propiedades mecánicas de materiales, proporcionando datos críticos para el diseño y la ingeniería.

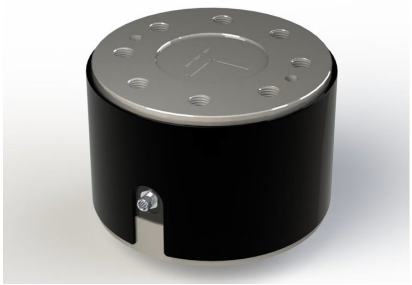


Figura 21: K3A225 celula de carga de 3 ejes de hasta 1 MN[38].

[38] Fuente: https://www.me-systeme.de/en/k3a225-1mn

3.2.9 Inclinómetros

En la automatización y robótica, los inclinómetros, acelerómetros, IMU, tilt switches y acceleration switches son sensores esenciales. Estos dispositivos permiten medir y controlar la orientación, aceleración, y posición de equipos y maquinaria, aportando precisión y seguridad en aplicaciones industriales. Su función es crucial en la monitorización de estructuras, en la precisión de sistemas de navegación y control, y en la respuesta inmediata ante cambios de posición o movimiento, mejorando la eficiencia y confiabilidad de los procesos automatizados.

- **Inclinómetros:** Los inclinómetros miden el ángulo de inclinación respecto a la vertical u horizontal. Se utilizan en el monitoreo estructural, robótica y maquinaria pesada, donde el ajuste de orientación es esencial.
- **Acelerómetros:** Los acelerómetros miden la aceleración en una o varias direcciones, permitiendo detectar cambios de velocidad e inclinación. Son comunes en la industria automotriz (activación de airbags), dispositivos móviles y monitoreo de vibraciones en maquinaria.
- **IMU (Inertial Measurement Units):** Las IMU (Unidades de Medición Inercial) combinan acelerómetros, giroscopios y, en algunos casos, magnetómetros para medir la aceleración y orientación angular en el espacio. Son esenciales en robótica, drones y vehículos autónomos, ya que permiten un control preciso del movimiento y la orientación.
- **Tilt Switches:** Los tilt switches o interruptores de inclinación detectan cambios en la orientación al abrir o cerrar un circuito cuando el ángulo supera cierto valor. Son fiables y se usan en dispositivos que requieren apagarse al inclinarse, como electrodomésticos y sistemas de seguridad.
- **Acceleration Switches:** Los acceleration switches responden a cambios bruscos de aceleración, activando un circuito en caso de un movimiento repentino. Son útiles en sistemas de seguridad y en la estabilidad de vehículos.
- **Tecnología MEMS:** La tecnología MEMS (Microelectromechanical Systems) permite fabricar sensores en miniatura que combinan componentes mecánicos y eléctricos en un solo chip. Gracias a MEMS, sensores como acelerómetros, inclinómetros e IMU son compactos, precisos y energéticamente eficientes, permitiendo su uso en aplicaciones avanzadas de automatización, robótica y dispositivos móviles.

Figura 22: QG65 inclinómetro de seguridad con SIL2 y PLd (izquierda) [39] y TILTIX (derecha) inclinómetros dinámicos con acelerómetro y giroscopio[40].

[39] Fuente imagen izquierda: https://dis-sensors.com/en/inclination-sensors
[40] Fuente imagen derecha: https://www.posital.com/es/productos/inclinometros/TILTIX-Inclinometer.php

3.2.10 LVDT

Los **LVDT (Transductores Diferenciales de Variación Lineal, por sus siglas en inglés)** son sensores utilizados para medir desplazamientos lineales con alta precisión. Estos dispositivos transforman el movimiento lineal en una señal eléctrica proporcional, permitiendo detectar cambios de posición en diversos sistemas. Funcionan mediante el desplazamiento de un núcleo ferromagnético dentro de una bobina, generando variaciones en el voltaje que reflejan el movimiento exacto del núcleo.

Los LVDT se emplean en muchas áreas de la automatización y la industria, especialmente cuando se requiere medir movimientos lineales con alta precisión y sin contacto físico directo. Los LVDT tienen múltiples aplicaciones, las más comunes suelen ser:

- **Control de posición en maquinaria:** Se utilizan en sistemas de control para medir el movimiento de piezas o el desplazamiento de actuadores en maquinaria industrial.
- **Pruebas de materiales:** En laboratorios, los LVDT permiten evaluar la deformación y el alargamiento de materiales en ensayos de resistencia.
- **Robótica y automatización:** Se aplican en sistemas donde es crucial conocer la posición exacta de un componente para asegurar movimientos precisos y repetibles.
- **Monitoreo estructural:** Ayudan a detectar cambios sutiles en la posición o deformación de estructuras, contribuyendo a la seguridad y estabilidad.

Los LVDT son altamente valorados por su precisión, durabilidad y resistencia a condiciones difíciles. Al no requerir contacto entre el núcleo y la bobina, tienen una vida útil prolongada, libre de desgaste mecánico. Además, ofrecen una señal de salida continua y sin interrupciones, ideal para procesos de control y monitoreo en tiempo real.

Figura 23: Ejemplos de LVDT's. Waycon LVISM miniaturizado (Izquierda) [41] Eddylab serie SL de acero inoxidable con repetibilidad de 1µm (Derecha) [42]

3.2.11 Sensores de Condition Monitoring

Los sensores ya no simplemente detectan los objetos, sino que tienen variables del entorno, 1 sólo sensor puede tener varios sensores que te permiten monitorizar la situación real del equipo y con esos datos adelantarte a posibles problemas en planta, por ejemplo, los motores, bombas, mezcladoras, cintas transportadoras o analizar las tuberías con aire comprimido o analizar el actuador de 1 garra de 1 robot.

En este caso, nos focalizamos en motores, una solución que mide la vibración en los tres ejes del motor, la temperatura y los golpes que recibe incluso guardando los 5 golpes más severos.

[41] Fuente imagen izquierda: https://www.waycon.es/productos/sensores-inductivos-lvdt/
[42] Fuente imagen derecha: https://www.eddylab.com/products/inductive-transducers~c-20

Estos datos describen la realidad del motor y son vitales para la prevención de fallos que se comunican en tiempo real. El MPB10 se comunica a través de IO-Link y fácilmente integrable en sistemas de terceros, propios o PLC.

Las alertas sirven para avisar que ciertos factores están rebasando límites y pre-límites de tiempo, la frecuencia de vibración y los golpes más fuertes que recibe el motor, bomba o conveyor dónde este ubicado.

Figura 24: MPB10 en 1 motor, permite adelantarte antes de los potenciales problemas[43].

3.3 Integración y comunicación de sensores, protocolos abiertos

La integración y comunicación de sensores es fundamental en los entornos industriales modernos, ya que permite que los datos recolectados por múltiples dispositivos se transmitan y utilicen en sistemas de control en tiempo real.

La comunicación IO-Link, CAN, Modbus entre otros también está habitando que se pueda comunicar datos además de la detección. En otras palabras, los mismos sensores fotoeléctricos llevan sensórica adicional para poder saber la temperatura interna inclinación, aceleración, vibración entre otras.

Los protocolos abiertos facilitan una competencia entre empresas en ofrecer las mejores prestaciones a los clientes.

La comunicación entre la parte OT e IT, tenemos la opción de mandar los datos en sistemas cloud o locales mediante comunicación OPC-UA, MQTT y REST API para un análisis con datos para tomar decisiones para mejorar los procesos y mejorar el rendimiento en el negocio (ver sección 6.1).

Una buena integración permite la interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes, facilita la recopilación y análisis de grandes volúmenes de datos, y permite realizar diagnósticos, control de calidad y mantenimiento predictivo de manera más efectiva, lo que habilita configuraciones de sistemas complejos en fábricas inteligentes y mejora la capacidad de respuesta y la toma de decisiones en tiempo real.

[43] https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/sensores-de-deteccion/sensores-condition-monitoring/multi-physics-box/mpb10-vs00vsiq00/p/p670770

Figura 25: Portfolio de máster IO-Link que permite integrar sensores en 1 sólo punto y comunicar con protocolos abiertos[44].

3.4 Ciberseguridad en sensores

La **protección de los datos de los sensores mediante ciberseguridad** (sección 7.2) es muy relevante en la industria para prevenir accesos no permitidos y proteger la integridad de la información crítica que habilita la toma de decisiones y en la operación de los procesos. Para proteger estos datos, se implementan varias medidas de seguridad:

- **Autenticación y Control de Acceso:** Establecer autenticación robusta, como contraseñas seguras y autenticación multifactor, ayuda a limitar el acceso solo a personal autorizado. Además, los controles de acceso segmentan los sistemas, restringiendo la información a quienes realmente la necesitan.
- **Cifrado de Datos:** Cifrar los datos de los sensores, tanto en tránsito como en almacenamiento, protege la información de ser interceptada o modificada por actores malintencionados, lo cual es fundamental en redes industriales conectadas a la nube o sistemas IoT.
- **Segmentación de Redes:** Separar las redes de sensores de las redes corporativas mediante firewalls y redes privadas virtuales (VPN) limita la exposición a amenazas externas y dificulta el acceso a datos sensibles.
- **Monitoreo y Detección de Intrusiones:** Sistemas de monitoreo de red y detección de intrusos (IDS/IPS) ayudan a identificar patrones inusuales o ataques en tiempo real, permitiendo respuestas rápidas ante posibles vulnerabilidades.
- **Actualizaciones y Parcheo Regular:** Mantener el software y el firmware de los sensores y sus controladores actualizado es clave para cerrar vulnerabilidades conocidas y proteger los sistemas frente a las últimas amenazas.
- **Configuración de routers/switches:** Una buena configuración en los router y switches aporta que, de forma automática, los equipos no autorizados no se puedan conectar automáticamente a las redes habilitadas
- **Restricciones en el uso de dispositivos externos:** Evitar un uso discriminado de dispositivos externos tipo memoria USB, discos duros que pueden acceder a la programación de los sensores

La implementación de estas estrategias de ciberseguridad fortalece la confiabilidad y privacidad de los datos de los sensores, garantizando que las decisiones en entornos industriales se basen en información precisa, segura y confidencial.

[44] https://www.sick.com/es/es/catalog/productos/tecnica-de-redes-y-conexiones/productos-de-integracion/sig350/c/g555784?text=sig&tab=overview

4 Actuación y transmisión de potencia

La actuación y transmisión de potencia en sistemas automatizados constituye un pilar fundamental de la Industria 4.0, permitiendo convertir señales de control en movimientos mecánicos precisos. Este capítulo explora los principios, tecnologías y tendencias asociadas a la actuación y transmisión de potencia, destacando su papel en la mejora de la eficiencia y flexibilidad en entornos industriales modernos.

La actuación en la automatización industrial implica la conversión de señales de control, provenientes de sistemas electrónicos, en movimientos mecánicos capaces de realizar tareas específicas. La transmisión de potencia, por su parte, se refiere al proceso de transferir energía desde una fuente, como un motor, a un dispositivo de salida, como un actuador o una herramienta de trabajo.

En este proceso, los reductores desempeñan un papel esencial al adaptar las características de la fuente de potencia (como la velocidad y el par) a los requisitos específicos de la aplicación. Su capacidad para optimizar la transmisión mecánica es clave para mejorar la precisión y eficiencia en un amplio rango de aplicaciones industriales.

4.1 Principales componentes y tecnologías

Los principales componentes que se pueden encontrar en sistemas de actuación y transmisión de potencia son los servomotores, reductores, accionamientos hidráulicos/pneumáticos y, finalmente, otros elementos de transmisión de potencia. A continuación, se detallan cada uno de ellos

4.1.1 Servomotores

Los servomotores son ampliamente utilizados en la automatización industrial debido a su alta eficiencia, precisión y versatilidad. Integrados con sistemas de retroalimentación, como encoders y sensores de posición, permiten controlar parámetros críticos como posición, velocidad y par. Su combinación con reductores de alta precisión maximiza su rendimiento, facilitando movimientos rápidos y controlados en aplicaciones como robótica industrial y maquinaria automatizada. A continuación, se enumeran algunos ejemplos de servomotores:

- **Servomotores de corriente continua (DC)**: Son los más comunes en aplicaciones que requieren control preciso de velocidad y posición. Están integrados con un controlador de velocidad y un sistema de retroalimentación como un encoder para obtener precisión.
- **Servomotores de corriente alterna (AC)**: Utilizados en aplicaciones industriales que requieren mayor potencia y eficiencia, como en procesos de manufactura a gran escala. Estos servos son más robustos y pueden funcionar con mayor fiabilidad durante períodos prolongados.
- **Servomotores sin escobillas (Brushless)**: Ofrecen mayor eficiencia, mayor vida útil y menor mantenimiento en comparación con los servomotores de escobillas. Son ideales para aplicaciones de alta velocidad y alta precisión.
- **Servomotores paso a paso (Step Motors)**: Aunque no son técnicamente *servos* en el sentido tradicional, son utilizados en aplicaciones donde el control preciso de la posición es crucial. Se pueden emplear con controladores avanzados para ofrecer pasos finos y movimientos repetibles.

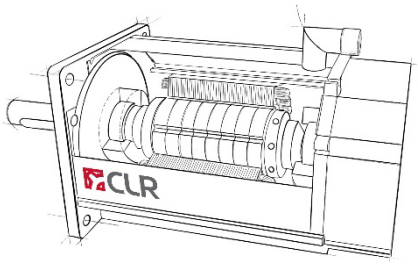


Figura 26: Esquema genérico de un servoactuador[45].

4.1.2 Actuadores neumáticos e hidráulicos

Aunque los sistemas eléctricos han ganado terreno, los actuadores neumáticos e hidráulicos siguen siendo relevantes para tareas que requieren alta fuerza o velocidad en condiciones exigentes. Los reductores también juegan un papel importante aquí, adaptando las características del sistema para garantizar un movimiento estable y eficiente.

Por un lado, los **actuadores neumáticos** utilizan aire comprimido para generar movimiento. Son ideales en aplicaciones que requieren alta velocidad, pero no necesitan precisión milimétrica. Se usan frecuentemente en la industria de embalaje, manipulación y automatización de procesos.

Por otro lado, los **actuadores hidráulicos** utilizan fluidos presurizados para generar movimiento. Son ideales para tareas que requieren fuerzas muy altas y son comunes en la industria pesada y en la automatización de procesos que implican grandes cargas.

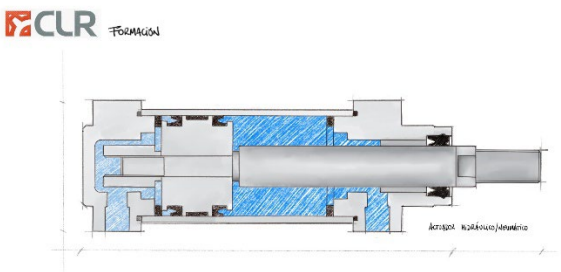


Figura 27: Esquema/partes de un actuador. Nótese que este esquema es válido tanto para los actuadores pneumáticos, como hidráulicos[46].

4.1.3 Reductores

Los reductores son un componente esencial en la transmisión de potencia. Aunque podrían considerarse dentro del apartado de transmisión de potencia (apartado 7.2), su uso es tan popular que merecen ser mencionados aparte, con mayor detalle.

El objeto principal de un reductor es la reducción de la velocidad y/o aumento del par del sistema de actuación. Esto no solo mejora la capacidad de carga y la precisión del movimiento, sino que también optimiza la durabilidad de los servomotores al operar dentro de rangos de trabajo más eficientes. Los avances en diseños compactos y sin holgura han posicionado a los reductores como una tecnología imprescindible en sistemas automatizados de alto rendimiento. Algunos de los reductores más utilizados son los siguientes tipos:

[45] Fuente: CLR
[46] Fuente: CLR

- **Reductores de ejes paralelos**. Suelen ser de dos tipos:
    - **Engranajes cilíndricos**: Son uno de los tipos más comunes y ofrecen un rendimiento eficiente en aplicaciones donde la velocidad de entrada debe ser reducida. Son muy utilizados en robots y sistemas de transmisión de potencia.

Figura 28: Engranaje cilíndrico[47].

    - **Engranajes helicoidales**: Similar a los reductores de engranajes cilíndricos, pero con dientes helicoidales que proporcionan un funcionamiento más suave y silencioso, ideales para aplicaciones de alta precisión.

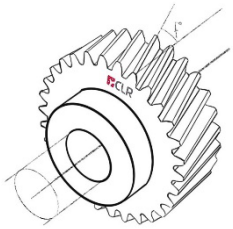


Figura 29: Engranaje helicoidal[48].

- **Reductores planetarios (o epicicloidales)**: Son ideales cuando se requiere un alto par de salida en un espacio compacto. Su diseño permite transmitir grandes fuerzas y ofrecer alta precisión. Son comunes en aplicaciones robóticas y en la automatización de fábricas.

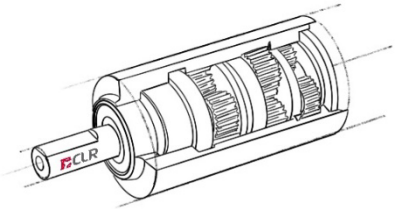


Figura 30: Reductor planetarios[49].

- **Reductores cónicos**: Utilizados cuando es necesario un cambio de dirección de la transmisión de potencia, como en la adaptación de ángulos o en configuraciones donde el espacio es limitado.

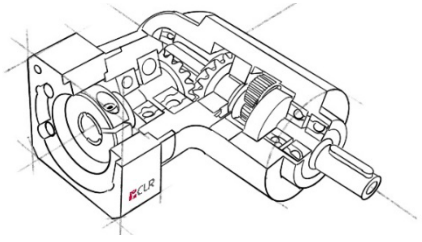


Figura 31: Reductor cónico[50].

[47] Fuente: CLR
[48] Fuente: CLR
[49] Fuente: CLR
[50] Fuente: CLR

- **Reductores de tornillo sin fin**: Este tipo de reductor se utiliza cuando es necesario un cambio de dirección de 90 grados. Tienen la ventaja de ser muy eficientes en aplicaciones de alta carga.

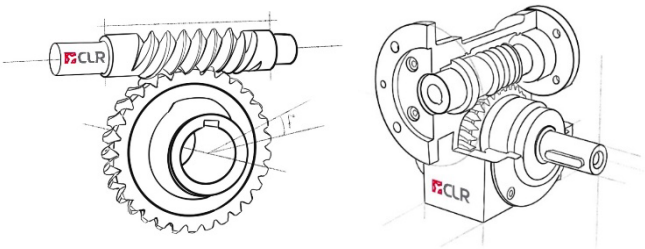


Figura 32: Tornillo sin fin[51].

- **Reductores sin holgura**: Son especialmente diseñados para aplicaciones de alta precisión, como en sistemas de servomotores, donde incluso una pequeña holgura puede afectar el rendimiento.

4.1.4 Transmisión mecánica

Los sistemas de transmisión, como engranajes, correas y cadenas, permiten transferir potencia de manera precisa y eficiente. En la Industria 4.0, los avances en materiales y técnicas de fabricación han dado lugar a componentes más ligeros, duraderos y eficientes. Los reductores modernos se integran perfectamente en estos sistemas, ofreciendo soluciones de alta precisión y baja fricción. A continuación, se describen los componentes más utilizados en la automatización industrial:

- **Engranajes**: Son fundamentales para transmitir potencia entre ejes mediante el contacto de dientes. Existen varios tipos:
  - **Rectos**: Comunes para ejes paralelos, eficientes pero ruidosos.
  - **Helicoidales**: Proporcionan una transferencia más suave, ideales para alta precisión.
  - **Cónicos**: Usados para cambios de dirección de 90 grados.
  - **Tornillo sin fin**: Usados para alta reducción de velocidad y gran par.
  - **Planetarios**: Ofrecen alta eficiencia en un espacio compacto, ideales para aplicaciones con alta carga.
- **Correas y poleas**: Utilizadas para transmitir potencia entre ejes mediante poleas.
  - **Planas**: Para sistemas de baja potencia.
  - **Dentadas (sincronizadas)**: Evitan el deslizamiento, usadas en control de movimiento.
  - **En V**: Ofrecen alta fricción y eficiencia, comúnmente en motores.

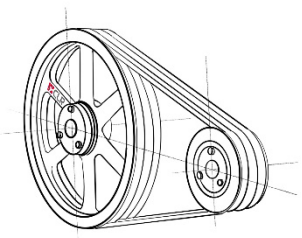


Figura 33: Transmisión por correa[52].

- **Cadenas y piñones**: Utilizadas en aplicaciones de alta potencia y fiabilidad.
  - **Rodillos**: Para transmisión robusta entre ejes.
  - **Paso fino**: Para alta precisión, utilizadas en líneas de montaje.
  - **Sin fin**: Usadas para cambios de dirección en espacios limitados.

[51] Fuente: CLR
[52] Fuente: CLR

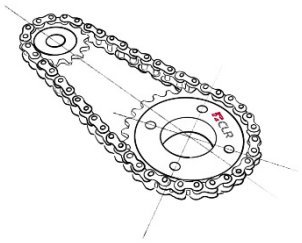


Figura 34: Transmisión por cadena[53].

- **Acoplamientos**: Conectan dos ejes y compensan desalineamientos y vibraciones.
    - **Rígidos**: Para ejes perfectamente alineados.
    - **Flexibles**: Permiten cierto grado de desalineación, útiles en condiciones variables.

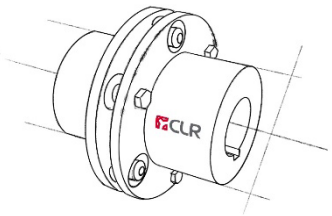


Figura 35: Acoplamiento[54].

- **Sistemas de levitación magnética (Maglev)**: Utilizan imanes para transmitir potencia sin contacto físico, eliminando fricción y desgaste, mejorando la eficiencia energética.
- **Sistemas sin contacto (actuadores magnéticos y superconductividad)**: Permiten transferir potencia sin fricción, ideales para aplicaciones que requieren control preciso y mínimo mantenimiento.

4.2 Tendencias en la actuación y transmisión de potencia

Las principales tendencias en la actuación pueden resumirse principalmente en tres líneas. La primera es la **optimización mediante gemelos digitales**, donde el uso de gemelos digitales en sistemas de actuación y transmisión permite simular y optimizar su funcionamiento antes de la implementación física. Estos modelos digitales, al incluir reductores y otros componentes clave, ayudan a prever fallos, reducir tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia global del sistema.

La segunda tendencia es el desarrollo de **reductores inteligentes** con la incorporación de sensores en los reductores. Esta tendencia ha dado lugar a dispositivos capaces de monitorear su estado en tiempo real. Esto facilita el mantenimiento predictivo, la reducción de costes operativos y la mejora de la productividad en fábricas conectadas.

Por último, la tercera tendencia es la búsqueda de la **eficiencia energética**, considerándose ésta como una prioridad en la Industria 4.0. Los reductores, al adaptar el par y la velocidad de los sistemas de transmisión, contribuyen significativamente a minimizar las pérdidas de energía, lo que se traduce en menores costos operativos y un impacto ambiental reducido.

4.3 Aplicaciones destacadas

La actuación y transmisión de potencia, con un énfasis especial en los reductores, es crítica en una amplia gama de aplicaciones industriales, tales como:

[53] Fuente: CLR
[54] Fuente: CLR

• **Robótica industrial**: Movimientos precisos en brazos robóticos y plataformas móviles, donde los reductores aseguran una operación suave y eficiente.

• **Líneas de montaje**: Adaptación precisa de velocidad y par para transferir piezas y herramientas entre estaciones.

• **Industria pesada**: Optimización de la operación de grúas y prensas hidráulicas mediante reductores de alto rendimiento.

• **Automatización logística**: Integración en sistemas de transporte y manipulación de materiales para mejorar la flexibilidad y capacidad de respuesta.

El avance en las tecnologías de actuación y transmisión de potencia, con los reductores como pieza central, está transformando los sistemas industriales. Su capacidad para mejorar la precisión, eficiencia y sostenibilidad en una amplia variedad de aplicaciones industriales asegura su relevancia en el contexto de la Industria 4.0. Los reductores, junto con servomotores y otras tecnologías avanzadas, no solo optimizan el rendimiento operativo, sino que también permiten una integración más inteligente y adaptable en entornos industriales modernos.

5 La controladora o PLC

El **PLC (Programmable Logic Controller)** o **Autómata Programable**, como cerebro de la máquina automatizada, ha sufrido una gran evolución desde la época de los 80s del siglo XX donde su función principal era la secuenciación de instrucciones lógicas que estaban basadas en circuitos eléctricos cableados.

Hoy en día, los PLC se parecen más a ordenadores robustecidos para ser usados en ambientes extremos de la industria ó IPC (Industrial Personal Computer), con su sistema operativo, que, a microcontroladores. Es por este motivo, quedó atrás también el concepto de ciclo de SCAN en favor de los conceptos de ejecución concurrente y multitarea.

No obstante, los conceptos de modo de trabajo *run* (programa en ejecución), *stop/program* (programa parado y PLC listo para ser [re]-programado) y *error* (parada por fallo de programa) siguen vigentes al cual se le añade *boot* (sistema operativo cargando).
Esta evolución ha sido acompañada por un hito importante: el estándar IEC61131([55]). Dicho estándar se divide en 9 documentos donde detallan las especificaciones técnicas a las que se tienen que adherir los autómatas programables (ver siguiente tabla).

Tabla 1: Documentos de la norma PLC-OPEN

Doc	Título	Explicación
1	**Información general**	Conceptos generales y terminología usada en la norma
2	**Especificaciones y ensayos de los equipos**	Requisitos físicos y eléctricos que debe cumplir el PLC
3	**Lenguajes de programación**	Parte muy importante, define los 5 lenguajes de programación estándar: Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD),

[55] IEC 61131:2024 SER | IEC: https://webstore.iec.ch/en/publication/62427
IEC 61131 - Wikipedia, la enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/IEC_61131

		Structured Text (ST), Instruction List (IL), y Sequential Function Chart (SFC)
4	**Guías de usuario**	Recomendaciones para el buen uso del PLC, incluyendo consideraciones sobre planificación de proyectos, selección de equipos e implantación de sistemas automáticos.
5	**Comunicaciones**	Requisitos para las comunicaciones para asegurar la interoperabilidad.
6	**Seguridad funcional**	Directrices para el diseño seguro de sistemas automatizados.
7	**Programación de control difuso**	Consideraciones sobre módulos de control con incertidumbre desplegados en PLCs
8	**Directrices para la aplicación e implementación de lenguajes de programación**	Directrices para la gestión de ciclo de vida de las aplicaciones de PLC
9	**Interfaz de comunicación digital punto a punto para pequeños sensores y actuadores**	Centrada en el bus de campo IO-LINK.

5.1 Estándares de programación (IEC61131-3): unificación de lenguajes de PLCs

El documento 3 del estándar[56] es el más importante y su objetivo es la definición de los lenguajes de programación, reglas sintácticas y semánticas. Hasta la llegada del estándar IEC61131, cada fabricante de PLC ofrecía en su sistema su(s) propio(s) lenguajes de programación y su forma específica de programar el PLC. A partir del estándar, todo fabricante adherido al estándar acompaña sus productos con el sello de PLC-OPEN que asegura la interoperabilidad y reusabilidad de código.

Figura 36: Logo de PLC-OPEN unificación de lenguajes[57].

Esta reusabilidad de código, en teoría debería asegurarse al 100%, sin embargo, en la práctica, se puede asegurar una interoperabilidad que puede oscilar, en los mejores casos, entre un 70% a un 95%, dependiendo si se usan o no bibliotecas estándar y el grado de cumplimiento del fabricante con el estándar. En [58] se detalla la lista de fabricantes donde se cita el grado de cumplimiento del estándar.

El estándar contempla por un lado la definición de elementos comunes, y por otro los lenguajes de programación. Dentro de los elementos comunes se citan los siguientes:

[56] IEC 61131-3 | PLCopen: https://plcopen.org/iec-61131-3
[57] Fuente: Logic | PLCopen: https://plcopen.org/technical-activities/logic
[58] Logic Certification | PLCopen: https://plcopen.org/logic-certification, Certification | PLCopen: https://plcopen.org/technical-activities/certification

- Tipos de datos y variables
- Modelo de software (configuración, recursos y tareas que son las responsables de ejecutar los programas), ver siguiente figura.
- Unidades de organización del programa (Programme Organization Unit, POU). Los tipos de POUs disponibles son funciones, bloques de funciones, y programas.

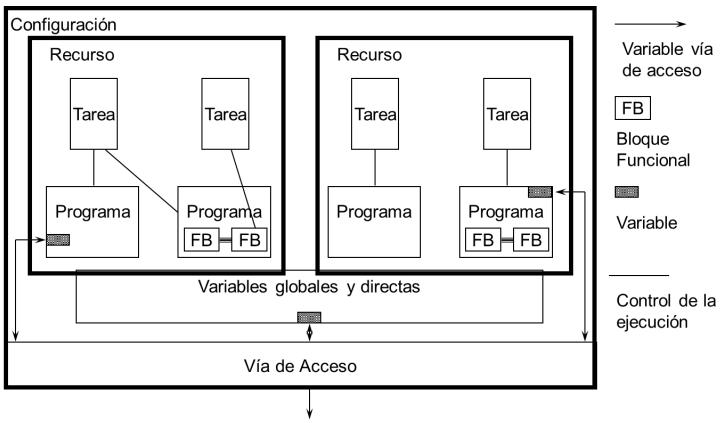


Figura 37: Modelo de software de PLC-OPEN[59].

- Gráfico Funcional Secuencial (Sequenctial Function Chart, SFC), una herramienta que puede ser considerado o lenguaje de programación o herramienta para definir la máquina de estados a desplegar en el PLC (Figura 38).

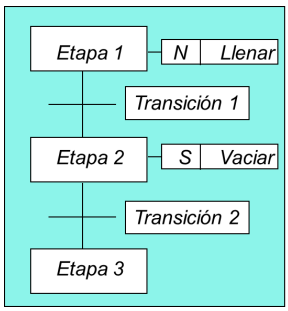


Figura 38: Ejemplo de Gráfico Funcional Secuencial de PLC-OPEN[60].

Respecto a los lenguajes de programación, se definen 4:

- Textual: Lista de instrucciones (Instruction List, IL), Texto estructurado (Structured Text, ST)
- Gráfico: Diagrama de bloques funcionales (Function Block Diagram, FBD), Diagrama de contactos/de escalera (Ladder Diagram, LD), ver siguiente figura.

[59] Introduction IEC 61131-3 - Spanish Language (plcopen.org): https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/intro_iec_61131_3_spanish.pdf
[60] Introduction IEC 61131-3 - Spanish Language (plcopen.org): https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/intro_iec_61131_3_spanish.pdf

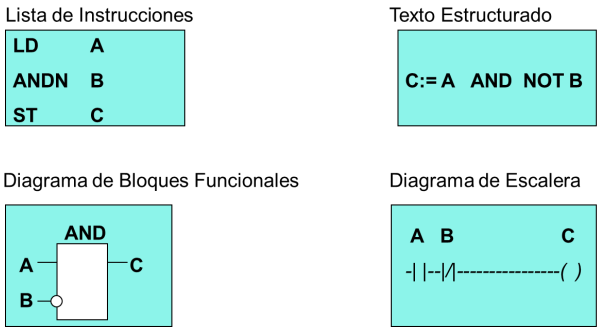


Figura 39: Ejemplo de los 4 lenguajes de programación de PLC-OPEN[61].

5.2 Estándares de motion: PLC-OPEN motion y CiA402

De la misma forma que se encuentran bibliotecas para el uso de contadores, temporizadores y funciones de conversión de tipos de datos, el estándar 61131 define una API o conjunto de funciones y bloques de funciones estándar[62,63] con el fin de que los programadores puedan crear un código para activar y parar un eje o grupos de ejes. La arquitectura de un eje PLC-OPEN (ver siguiente figura) considera que un eje está consituido un motor, un sensor de posición y una etapa de potencia (drive) que son representados, a nivel de software, por una estructura de datos (Axis_Ref). Un set de bloques de funciones (FB) son capaces de tomar la información parametrizada por la estructura anteriormente citada y a travé de un gestor de tareas (Task Manager) comandar una máquina de estados (Figura *41*).

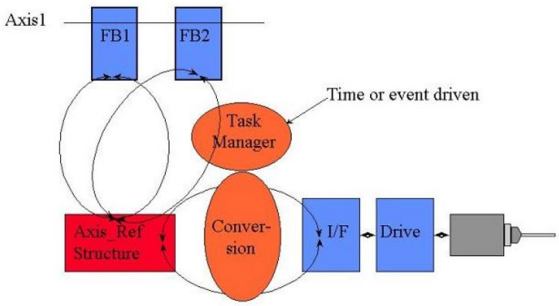


Figura 40: Arquitectura de un eje PLC-OPEN[64].

[61] Introduction IEC 61131-3 - Spanish Language (plcopen.org): https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/intro_iec_61131_3_spanish.pdf
[62] plcopen_motion_control_library.pdf: https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/plcopen_motion_control_library.pdf
[63] Fuente: Motion Control User Guidelines | PLCopen: https://plcopen.org/motion-control-user-guidelines
Certification Motion Control | PLCopen: https://plcopen.org/certification-motion-control
[64] Fuente: plcopen_motion_control_library.pdf: https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/plcopen_motion_control_library.pdf

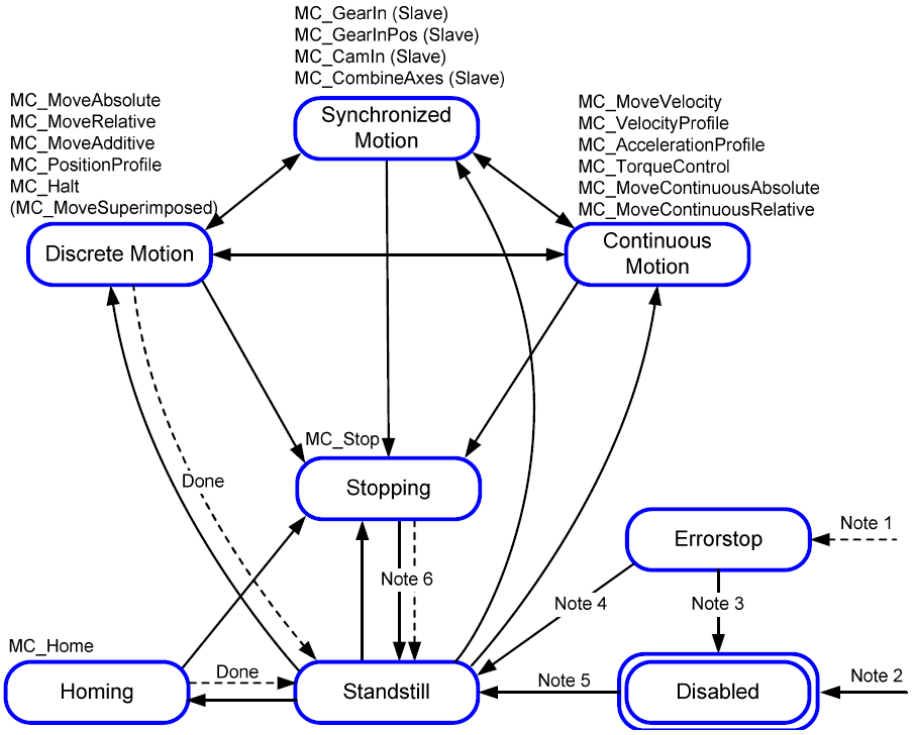


Figura 41: Máquina de estados de control de eje del estándar PLC-OPEN[65].

Un eje de PLC-open en movimiento puede estar en el estado de *Movimiento Discreto* (Discrete Motion), *Movimiento Sincronizado* (Synchronized Motion) o *Movimiento Continuo* (Continuous Motion). El modo de *Movimiento Discreto* agrupa las instrucciones de movimiento punto a punto, mientras que el modo *Movimiento Continuo* se usa para desplegar controladores de posición, velocidad y/o par. Gracias al modo *Movimiento Sincronizado* se pueden desplegar la funcionalidad de *engranajes y levas electrónicas.* Desde un punto de vista funcional, los *engranajes y levas electrónicas* se comportan de la misma forma que los engranajes y levas tradicionales, donde la velocidad/posición de un eje de salida depende de la velocidad/posición de un eje de entrada debido a un acoplamiento mecánico entre ambos. En el caso de los *engranajes y levas electrónicas* no existe tal acoplamiento mecánico, sino que simplemente la controladora del eje de salida (esclavo) recibe como referencia de velocidad/posición la de un eje llamado *eje maestro*.

PLC-OPEN motion, además de considerar el control de ejes individuales, establece cómo éstos pueden ser agrupados y asociados a una cinemática de forma que puedan tratarse de forma coordinada. Este concepto abre la puerta al despliegue de controladoras de brazos robóticos que admitan consignas tanto en el espacio articular como en el cartesiano.

Además de la máquina de estados de *PLC-OPEN motion*, existe un estándar ampliamente extendido heredado de las redes CAN, que también define su interfaz y máquina de estados, conocido como

[65] Fuente: plcopen_motion_control_overview.pdf: https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/plcopen_motion_control_overview.pdf

CiA402([66]). Debido a la gran popularidad de estos interfaces, se han exportado a otras redes como Ethercat derivando al concepto de *CAN over Ethercat* (CoE).

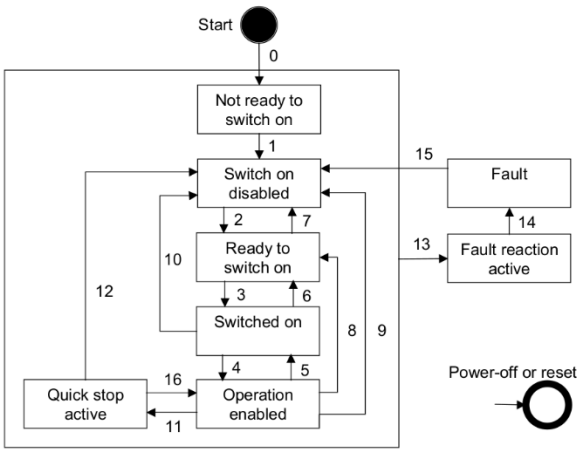


Figura 42: Máquina de estados de control de eje del estándar CiA402([67]).

6 Comunicaciones

Al comienzo de la automatización moderna, basada en los PLCs, por la década de los 60s del siglo XX, el énfasis se centraba en el funcionamiento requerido para ejecutar la aplicación. La máquina no se conectaba aguas arriba con ningún otro elemento de la fábrica (comunicaciones IT- *Information Technology*). Respecto a la interconexión necesaria entre el PLC y el resto de los componentes de la máquina se hacían por líneas de entradas/salidas digitales (comunicaciones OT- *Operation Tecnhology*). Ello conllevaba a la necesidad de desplegar por toda la máquina un mazo de conductores que dificultaba la escalabilidad y reparación de errores ante fallas.

Para resolver tales problemas, a partir de la década de los 70 y en adelante, se comenzó el desarrollo de un gran abanico de redes, conocidas como *redes industriales*, con características específicas para optimizar su rendimiento trabajando en las condiciones duras propias de la industria. Ejemplo de estas características son entornos hostiles (atmósferas agresivas, perturbaciones electromagnéticas, etc) y exigencias sobre velocidad de transmisión (tiempos máximos de entrega de mensajes, infraestructura de control de prioridad de mensajes, etc).

Las comunicaciones IT fueron rápidamente resueltas en el contexto de la ofimática, estableciéndose ethernet y todas sus variantes como el *estándar-de-facto*¸ eso sí, con una definición específica para aguantar las condiciones extremas que se pueden encontrar en una fábrica.

---

[66] CiA 402: CANopen device profile for drives and motion control: CAN in Automation (CiA) (can-cia.org): https://www.can-cia.org/can-knowledge/cia-402-series-canopen-device-profile-for-drives-and-motion-control

[67] Fuente: CANopen over EtherCAT CiA 402 (synapticon.com): https://doc.synapticon.com/node/system_integration/coe_cia_402.html?TocPath=Resources%7CSystem%20integration%20guidelines%7C_____9

Por otro lado, las comunicaciones OT quedaron bajo el paraguas de las empresas desarrolladoras de componentes para la automatización, como Siemens, Allan Bradley, Omron, Beckhoff, y B&R.

El motivo principal de esta dicotomía entre redes IT y OT se debe exclusivamente a que son dos escenarios con requerimientos diferentes. Mientras que en IT se prioriza que la información llegue sin corromperse y no se permite la pérdida de paquetes, pero sin que sea crítico el tiempo de transmisión; en el mundo OT, el requerimiento critico es que el mensaje llegue dentro de un intervalo de tiempo establecido, es decir, en tiempo real. En otras palabras, es crítico que una vez establecido el periodo de muestreo la infraestructura sea capaz de enviar la información de los sensores al PLC y el comando de actuación a los motores. Así mientras no se pueden tolerar los errores de transmisión de los comandos, puede ser admisible que haya una pérdida puntual de los paquetes provenientes de los sensores.

Un caso particular de redes OT son las redes que están asociadas a los elementos de seguridad (léase *safety* en inglés), donde la red tiene que ser tolerante a fallos y cumplir con requerimientos de redundancia.

Debido a la variedad y dificultad en clasificar las redes, se establece un modelo, conocido como *modelo OSI* (Open Systems Interconnection), creado en los años 80s del siglo XX, y elevado a la categoría de estándar por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) bajo la identificación ISO/IEC 7498-1.([68])

El *modelo OSI* determina que cualquier red de comunicaciones, puede ser analizado a través de un conjunto de 7 capas, donde la capa más baja se corresponde con los componentes físicos usados para desplegar la red y la capa más alta está constituida por la aplicación de software usada por el usuario para emitir y recibir los mensajes.

Tabla 2: Niveles del modelo OSI

Nivel OSI	Unidad de información	Nombre nivel	Explicación
1	**Bit (Bit)**	**Físico (Physical)**	Medio físico/hardware usado (tipos de cables, conectores y energía usada para codificar bits).
2	**Trama (Frame)**	**Enlace de datos (Data Link)**	Envío de mensajes punto a punto con control de errores. El direccionamiento se hace vía MAC o cualquier otra forma de codificar número de nodo mediante firmware.
3	**Paquete (Packet)**	**Red (Network)**	Gestión de multinodos, se contempla el direccionamiento y el routeo. En Ethernet es la comunicación a nivel de IPs.
4	**Segmento/Datagramas (Segment/Datagram)**	**Transporte (Transport)**	Envio confiable entre puntos de red, a través de mecanismos de acuse de recibo (acknowledgement), la segmentación y multiplexación.
5	**Dato (Data)**	**Sesión (Session)**	Gestión de sesiones (login) para la gestión de permisos de acceso a la red y permitir la posibilidad de flujos continuos (streaming)
6	**Dato (Data)**	**Presentación (Presentation)**	Software para codificación, compresión, cifrado y descifrado.
7	**Dato (Data)**	**Aplicación (Application)**	APIs de alto nivel con funciones para el usuario a modo de servicios (correo electrónico, web, ftps, etc)

Como ejemplo práctico, el caso de las redes ethernet tenemos el ejemplo:

- **Capa 1:** fibra óptica, cable trenzado, conectores, o conexión por WIFI
- **Capa 2:** direccionamientos por MAC (Media Access Control)
- **Capa 3:** direccionamientos broadcast por IPs (Internet Proticol)

[68] Modelo ISO: http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/s020269_ISO_IEC_7498-1_1994(E).zip

- **Capa 4:** direccionamiento por IPs por datagramas (UDP) y por TCP (Transmission Control Protocol)
- **Capa 5:** sistemas de login como SMB (Server Message Block) o RPC (Remote Procedure Call)
- **Capa 6:** codificación ASCII, JPEG; cifrado SSL (Secure Sockets Layer/TLS (Transport Layer Security)
- **Capa 7:** servicios HTTP(S) ([Secure] Hypertext Transfer Protocol), FTP (File Transfer Proticol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), DNS (Domain Name System)

Otro concepto importante es la topología de la red, es decir, cómo los dispositivos están físicamente cableados entre ellos. Actualmente, casi todas las redes/buses de campo tienen una alta flexibilidad y pueden admitir cualquier tipología. Las principales son bus, estrella, árbol, anillo, y cadena de margaritas (Daisy channel), ver siguiente figura.

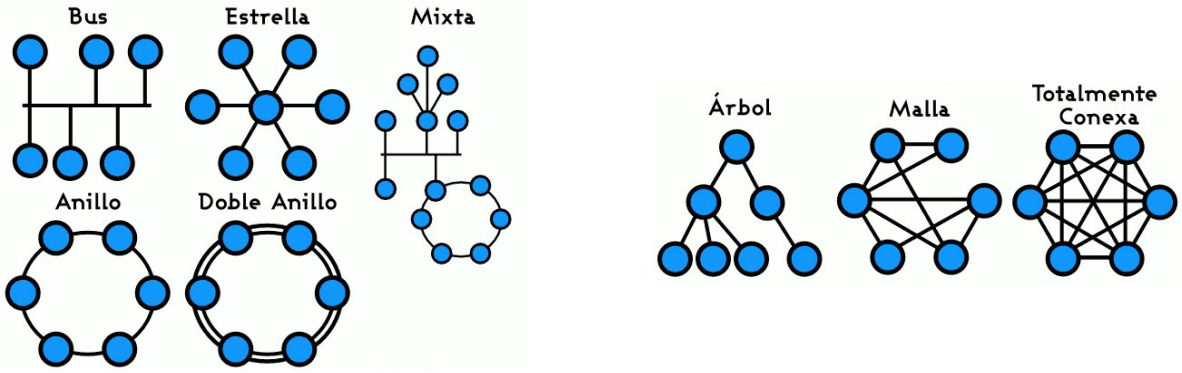


Figura 43: Topologías de redes[69].

6.1 Protocolos de comunicaciones IT para la industria 4.0 (y sucesivas): OPC-UA, MQTT, AMQP, ROS, REST API

Tal y como se ha comentado anteriormente, el estándar-de-facto para las redes IT es la red *ethernet*. No os tenemos que olvidar que la especificación de la red ethernet está fundamentalmente ligada a las capas inferiores del modelo OSI, dejando libertad para la definición del resto de capas. En el ámbito de la ofimática ya encontrar muchos ejemplos que permiten el exponer información (HTTP), o enviar ficheros (FTP), o correos electrónicos (SMTP), dejando abierto un campo para el desarrollo de protocolos para el flujo de datos (streaming), necesario para los sistemas de control distribuido, los SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) en integración de los sistemas automáticos con ERPs(Enterprise Resource Planning) y MES(Manufacturing Execution system). En el contexto de la industria 4.0 destacan OPC-UA, MQTT, AMQP y ROS.

OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture)[70] es un estándar de comunicación ampliamente utilizado en la automatización industrial para garantizar la interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos. A diferencia de su predecesor, OPC Classic, OPC-UA es independiente de la plataforma, lo que significa que puede funcionar en una variedad de entornos, desde dispositivos integrados hasta servidores en la nube. Una de sus características más destacadas es su robusta seguridad, que incluye encriptación, firma de mensajes y autenticación de usuarios, asegurando que los datos transmitidos sean seguros y confiables. Además, OPC-UA permite un modelado de información avanzado, lo que permite representar datos de forma estructurada, incluyendo relaciones complejas y metadatos, lo

[69] Imagen extraída de Wikipedia (Red de área local - Wikipedia, la enciclopedia libre) De Yearofthedragon, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1538912
[70] Home Page - OPC Foundation: https://opcfoundation.org/

que es esencial para aplicaciones industriales complejas. Gracias a estas características, OPC-UA es altamente escalable y se adapta tanto a sistemas pequeños como a grandes infraestructuras industriales.

La arquitectura de OPC-UA es servidor-cliente, es decir, un servidor (que normalmente es el PLC) expone una serie de recursos (normalmente variables) con distintos modos de acceso (sólo lectura o lectura/escritura) que tienen que ser accedidos desde un cliente. Prácticamente todos los fabricantes de PLCs, dan soporte de forma nativa de forma que es muy sencillo desplegar un servidor. Con OPC-UA se pueden llegar a hacer streamings con un periodo de 10ms. OPCUA es el protocolo de referencia en la que se ha basado el organismo UMATI[71] centrado en definir una interfaz universal para la maquinaria.

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)[72] es un protocolo de mensajería que ha ganado popularidad en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT) debido a su diseño ligero y eficiente. Está diseñado específicamente para redes con ancho de banda limitado o alta latencia, lo que lo hace ideal para dispositivos con recursos limitados. MQTT sigue un modelo de publicación/suscripción que permite que los dispositivos publiquen mensajes y se suscriban a temas (topics), facilitando la comunicación distribuida. Ofrece tres niveles de Calidad de Servicio (QoS: At Most Once, Al Least Once, Exactly Once), lo que permite ajustar el protocolo según las necesidades de confiabilidad de la aplicación. Su simplicidad y escalabilidad lo hacen adecuado para integrarse en arquitecturas IoT masivas, donde se requiere la recolección de datos de múltiples sensores y dispositivos distribuidos. A diferencia de OPC-UA, la arquitectura de MQTT se basa en un bróker al cual se conectan los clientes. Cada cliente debe notificar al bróker si quiere publicar o suscribirse a un tema (topic), y por ello, el bróker es el responsable de toda la mensajería, incluyendo la implementación del QoSes el Debido a lo ligero que es este protocolo,

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)[73] es un protocolo de mensajería de estándar abierto que se utiliza para el intercambio seguro y confiable de datos entre aplicaciones. Es conocido por su fiabilidad, ya que ofrece garantizada la entrega de mensajes a través de colas persistentes. AMQP permite un enrutamiento flexible de mensajes mediante el uso de intercambios y colas, facilitando la creación de arquitecturas complejas de mensajería. Además, su diseño busca asegurar la interoperabilidad entre diferentes plataformas y lenguajes, asegurando que diversas aplicaciones puedan comunicarse sin problemas. AMQP también soporta encriptación y autenticación, proporcionando un alto nivel de seguridad en las comunicaciones, lo que es esencial en sistemas empresariales críticos como aplicaciones financieras y de comercio electrónico. En comparación con MQTT y OPC-UA es un protocolo complejo. La arquitectura de AMQP se basa en productores y consumidores de información que son canalizados a través de un bróker, al igual que MQTT.

API-REST (Representational State Transfer)[74] es un estilo de arquitectura ampliamente utilizado para la construcción de servicios web, permitiendo la comunicación entre sistemas de manera flexible y eficiente. A diferencia de protocolos más complejos, API-REST se basa en un conjunto de principios simples que aprovechan el protocolo HTTP, facilitando su implementación en una variedad de entornos, desde aplicaciones web hasta dispositivos móviles. Una de las características más destacadas de API-REST es su enfoque en operaciones sin estado, lo que significa que cada solicitud del cliente al servidor debe contener

[71] umati - universal machine technology interface - connecting the world of machinery: https://umati.org/
[72] MQTT - The Standard for IoT Messaging: https://mqtt.org/
[73] Home | AMQP: https://www.amqp.org/
[74] ¿Qué es una API de RESTful? - Explicación de API de RESTful - AWS: https://aws.amazon.com/es/what-is/restful-api/

toda la información necesaria para ser procesada, lo cual simplifica la escalabilidad y distribución de aplicaciones. Además, API-REST utiliza métodos HTTP estándar como GET, POST, PUT y DELETE para realizar operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar) en recursos representados por URLs, permitiendo una interacción clara y directa con los datos. Gracias a su simplicidad y compatibilidad con una amplia gama de tecnologías y plataformas, API-REST se ha convertido en una opción popular para desarrollar aplicaciones modernas y conectadas. A diferencia de protocolos como MQTT o AMQP, API-REST no requiere la implementación de un bróker o servidor especializado, ya que se apoya directamente en la infraestructura HTTP existente, facilitando su adopción y uso en proyectos de diferentes escalas.

En el contexto de **ROS (Robot Operating System)**[75] y **ROS 2**, ambos sistemas utilizan un modelo de comunicación basado en publicación/suscripción, aunque con diferencias significativas. En ROS (ó ROS 1), el *rosmaster* actúa como un nodo central (o bróker) que gestiona la información sobre los *nodos* (clientes) y *topics* (temas) en la red. En este modelo, los nodos publican mensajes en topics y se suscriben a ellos para recibir información relevante, permitiendo que cada topic tenga múltiples publicadores y suscriptores. ROS utiliza TCPROS como transporte principal, aunque también soporta UDPROS para aplicaciones que requieren menor latencia. Por otro lado, ROS 2 mejora significativamente este modelo al eliminar la dependencia de un nodo central, utilizando DDS (Data Distribution Service) para manejar la comunicación. DDS proporciona descubrimiento automático de nodos, calidad de servicio configurable y manejo de datos en tiempo real. Esto permite a ROS 2 ofrecer una comunicación más distribuida, robusta y escalable, adecuada para aplicaciones modernas que requieren flexibilidad y fiabilidad. Además, las políticas de Calidad de Servicio (QoS) en ROS 2 permiten definir configuraciones específicas para garantizar la entrega de mensajes según los requisitos de cada aplicación. Hay que añadir que tanto ROS como ROS2 no son meros sistemas para transmisión de mensajes, sino también ecosistemas completos para desarrollar aplicaciones robóticas, sobre todo en el ámbito de la investigación (ver [76]). Mientras que ROS (ó ROS 1) tiene una trayectoria de cerca de 20 años, ROS 2 ha nacido como una evolución de este con el fin de conseguir resolver una serie de limitaciones de ROS 1 y así tener una mayor penetración en el sector de la automatización industrial.

6.2 Las redes OT: los buses de campo

A diferencia de las redes IT, las redes OT (comunicación del PLC con los sensores y/o actuadores repartidos por la máquina automática) no se han beneficiado del mismo nivel de estandarización (ver Tabla *3*), si bien puede decirse que en la génesis ha habido dos inicios históricos:

- redes CAN: redes más tradicionales y específicas, históricamente muy usadas en el sector de la automoción, con sus dos versiones CAN([77]) y CAN-OPEN([78])
- redes Ethernet (capacidades más avanzadas).

[75] ROS: Home: https://www.ros.org/
[76] R. Suáreza, J. Rosella, M. Vinagreb, F. Cortesb, A. Ansuateguic, I. Maurtuac, D. Martind, A. Guashd, J. Azpiazuf, D. Serranog, N. Garcíag, "Robot Operating System (ROS)", AER (2022), https://www.aer-automation.com/wp-content/uploads/2022/03/ROS_articuloAER.pdf .
[77] Bus CAN - Wikipedia, la enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/Bus_CAN
[78] CANopen - Wikipedia, la enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/CANopen

Tabla 3: Tabla resumen de los principales buses de campo y las empresas impulsoras

Bus de Campo	Fabricante/ Organización Principal	URL	Capa OSI	Basado en
PROFIBUS	**Siemens**	siemens.com	Capa 2 (Enlace de Datos)	Serial Bus
Modbus	**Modicon (ahora Schneider Electric)**	se.com	Capa 2 (Enlace de Datos)	Serial Bus (Modbus RTU) / Ethernet (Modbus TCP)
CAN (Controller Area Network)	**Bosch**	bosch.com	Capa 2 (Enlace de Datos)	CAN (Serial Bus)
DeviceNet	**ODVA (Open DeviceNet Vendors Association)**	odva.org	Capa 2 (Enlace de Datos)	CAN (Serial Bus)
Ethernet/IP	ODVA (Open DeviceNet Vendors Association)	odva.org	Capa 1 (Física), Capa 2 (Enlace de Datos) y Capa 3 (Red)	Ethernet
AS-Interface (AS-i)	**AS-International**	as-interface.net	Capa 1 (Física) y Capa 2 (Enlace de Datos)	Serial Bus
FOUNDATION Fieldbus	**FieldComm Group**	fieldcommgroup.org	Capa 1 (Física) y Capa 2 (Enlace de Datos)	Serial Bus
EtherCAT	**Beckhoff Automation**	beckhoff.com	Capa 2 (Enlace de Datos)	Ethernet
PROFINET	**Siemens**	siemens.com	Capa 1 (Física), Capa 2 (Enlace de Datos) y Capa 3 (Red)	Ethernet
HART (Highway Addressable Remote Transducer)	**FieldComm Group**	fieldcommgroup.org	Capa 1 (Física) y Capa 2 (Enlace de Datos)	Serial Bus
CC-Link	**CC-Link Partner Association (CLPA)**	cc-link.org	Capa 2 (Enlace de Datos)	Ethernet (CC-Link IE) / Serial Bus
Interbus	**Phoenix Contact**	phoenixcontact.com	Capa 2 (Enlace de Datos)	Serial Bus
IO-Link	**IO-Link Consortium**	io-link.com	Capa 1 (Física) y Capa 2 (Enlace de Datos)	Serial Point-to-Point Protocol
Powerlink	**Ethernet POWERLINK Standardization Group (EPSG) (B&R)**	https://www.br-automation.com/	Capa 2 (Enlace de Datos)	Ethernet

Finalmente añadir que TSN (Time-Sensitive Networking)[79] es un conjunto de estándares desarrollados por el grupo de trabajo de *tiempo sensible* del IEEE 802.1([80]), diseñado para conferir a Ethernet capacidades de transmisión en tiempo real, buscando: comunicaciones de red determinísticas, baja latencia, alta fiabilidad, sincronización precisa, QoS, redundancia y recuperación, con el fin de converger el mundo de las comunicaciones IT (ofimática, ERP, MES, SCADA) con el mundo de las comunicaciones OT (buses de campo).

7 Seguridad en dispositivos automáticos

En el mundo de los dispositivos automáticos, la seguridad es un aspecto crítico que abarca dos áreas fundamentales: la protección física de los operadores y usuarios (en inglés conocida como *safety*), y la protección de datos y señales contra accesos no autorizados (en inglés conocida como *security*). El concepto de safety se enfoca en garantizar que las máquinas funcionen de manera segura, sin representar un riesgo para las personas o el entorno. Esto implica el diseño de sistemas robustos que prevengan fallos peligrosos y la implementación de medidas que mitiguen los riesgos operativos. Por otro lado, la ciberseguridad se centra en salvaguardar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información asociada a los dispositivos automáticos. En un entorno cada vez más interconectado, proteger estos sistemas de ciberataques es esencial para evitar manipulaciones maliciosas que puedan comprometer tanto la seguridad operativa como la información sensible. Esta sección explora ambos aspectos, proporcionando una visión integral de cómo se pueden implementar estrategias eficaces para garantizar la seguridad total en dispositivos automáticos.

7.1 Seguridad (Safety) en dispositivos automáticos

La seguridad es un aspecto crucial en la automatización industrial. Es importante abordar los conceptos de Nivel de Integridad de Seguridad (SIL) y Nivel de Rendimiento (PL), que son fundamentales para garantizar la fiabilidad de los sistemas de control relacionados con la seguridad.

SIL (Safety Integrity Level) se basan en la norma IEC 62061 y se aplican a todos los sistemas de control relacionados con la seguridad. Puntos clave a considerar:

- Van desde PLa (menos fiable) hasta P (más fiable)
- Se fundamentan en la probabilidad de fallos peligrosos por hora (PFHd)
- Requieren cálculos detallados para diferentes arquitecturas
- Consideran factores como la tasa de fallos peligrosos (λd), el factor de fallo de causa común (β) y la cobertura de diagnóstico (DC)

PL (Performance Level) están contemplados en la norma ISO 13849-1 y se aplican a todas las partes de los sistemas de control relacionadas con la seguridad. Aspectos importantes:

- Van desde PLa (menos fiable) hasta PLe (más fiable)
- Se basan también en la probabilidad de fallo peligroso por hora (PFHd)
- Se pueden estimar utilizando diversos parámetros

Es importante destacar que tanto SIL como PL son métodos válidos para garantizar la fiabilidad de los sistemas de seguridad. La elección entre uno u otro dependerá de factores como:

[79] Time-Sensitive Networking - Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Time-Sensitive_Networking

[80] IEEE 802.1 - Wikipedia, la enciclopedia libre: https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.1

- Familiaridad del equipo con el método
- Requisitos específicos del empleador o cliente
- Tipo de industria o aplicación

La implementación de estos estándares de seguridad en la automatización industrial conlleva varios beneficios ([81,82]):

- Cumplimiento de regulaciones y estándares de seguridad
- Prevención de accidentes y reducción de tiempos de inactividad
- Adaptación a nuevas tecnologías como la Industria 4.0
- Optimización de operaciones e integración de la seguridad con los procesos

Al abordar la seguridad en la automatización industrial, es crucial ([83]):

- Realizar un análisis de riesgos exhaustivo
- Implementar medidas como sensores de seguridad y sistemas de parada de emergencia
- Establecer protocolos de seguridad para trabajadores
- Asegurar el cumplimiento normativo en materia de seguridad industrial

En conclusión, la incorporación de SIL y PL en los sistemas de automatización industrial es esencial para crear un entorno de trabajo seguro y confiable, cumpliendo con los estándares más exigentes de la industria.

7.2 Ciberseguridad (Security) e IoT

En el siglo XX, el diseño de máquinas automáticas y, en particular, de robots industriales, se centró en la robustez y la eficiencia operativa. El objetivo era que estas máquinas pudieran realizar sus tareas de manera confiable y precisa, con una mínima intervención humana. Sin embargo, en el afán por lograr estas características, se dejó en gran medida de lado la conectividad. Las máquinas operaban de manera autónoma y aislada, con poca o ninguna comunicación con otros sistemas o redes externas.

Con la llegada del siglo XXI, la situación ha cambiado drásticamente. La conectividad se ha convertido en el núcleo de la innovación industrial. Hoy en día, las máquinas automáticas deben integrarse en redes de tecnología de la información (IT) para ser monitorizadas y controladas de manera remota. Esta conectividad no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite la integración con sistemas más amplios como los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP, Enterprise Resource Planning[84]) y los sistemas de ejecución de manufactura (MES, Manufacturing Execution Systems[85]). Los ERPs son sistemas que ayudan a las empresas a gestionar sus operaciones diarias, desde la producción hasta las finanzas, mientras que los MES se centran en el seguimiento y control de los procesos de fabricación en tiempo real.

La integración de estas máquinas puede realizarse tanto a nivel de planta, conectando diferentes sistemas dentro de una misma instalación, como a nivel inter-planta, donde diferentes plantas de producción pueden estar interconectadas a través de internet. Esto ha dado origen al concepto de Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things). IoT se refiere a la interconexión de dispositivos y máquinas a través de internet, permitiendo que se comuniquen entre sí y con sistemas de gestión centralizados. Esta tecnología va más

[81] https://hexaingenieros.com/tarjetas-safety-o-plc-de-seguridad-que-son-y-cual-es-su-importancia-para-las-industrias/
[82] https://www.amsoluciones.com/seguridad-en-la-automatizacion-de-maquinaria-industrial/
[83] https://iobi.es/2023/07/05/seguridad-en-la-automatizacion-industrial/
[84] https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_planificaci%C3%B3n_de_recursos_empresariales
[85] https://es.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_Execution_System

allá de conectar personas con servidores de datos, ya que las máquinas también se convierten en nodos activos en esta red global.

El avance hacia IoT ha transformado los antiguos sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition[86]) del siglo XX en modernos dashboards (cuadros de mando[87]) del siglo XXI. Mientras que SCADA se centraba en la supervisión y control de procesos industriales, los dashboards actuales presentan datos en tiempo real y analíticas avanzadas para una toma de decisiones más informada (ver siguiente imagen).

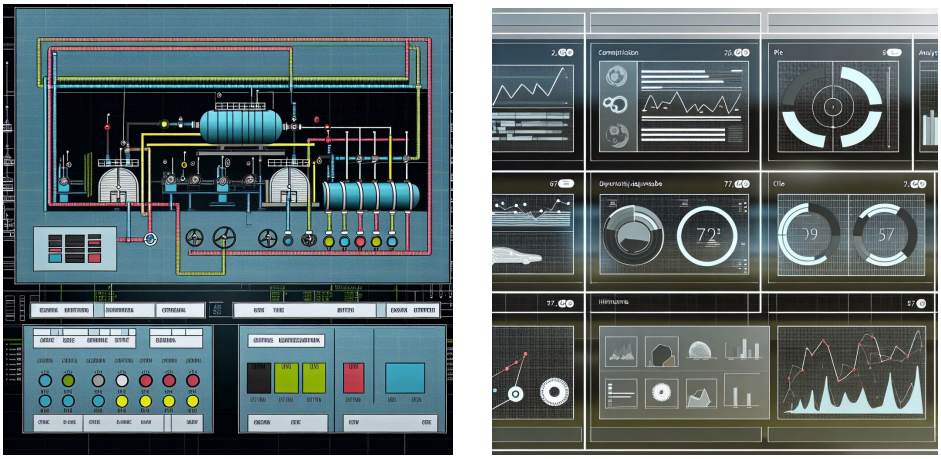


Figura 44: Comparativa entre SCADA (izquierda) y dashboard (derecha)[88].

Sin embargo, esta conectividad también ha traído consigo nuevos desafíos, especialmente en el ámbito de la ciberseguridad. Las máquinas conectadas están expuestas a posibles ataques de hackers. Estos ataques no solo pueden comprometer la productividad de la planta y la protección de datos, sino que también pueden provocar situaciones de emergencia, ya que el uso incorrecto de una máquina puede causar su destrucción o, peor aún, accidentes con consecuencias graves para la seguridad humana, que podrían tener repercusiones locales o de mayor alcance geográfico.

Para mitigar estos riesgos, se implementan diversas medidas de ciberseguridad. Las encriptaciones asimétricas, por ejemplo, utilizan pares de claves (una pública y una privada)[89] para proteger la comunicación, asegurando que solo las partes autorizadas puedan acceder a los datos. Las claves de acceso y los sistemas de login son esenciales para autenticar usuarios (preferentemente mediante el uso de certificados digitales[90]) y permitir el acceso solo a personal autorizado. Además, las redes privadas virtuales (VPN, Virtual Private Network) crean una conexión segura y encriptada sobre una red menos segura, como internet, protegiendo así la transferencia de datos entre diferentes ubicaciones.

A nivel normativo, existen regulaciones y estándares que guían la implementación de ciberseguridad en entornos industriales. Normativas como la ISO/IEC 27001 ([91]) establecen un marco para la gestión de la

[86] https://es.wikipedia.org/wiki/SCADA
[87] https://es.wikipedia.org/wiki/Cuadro_de_mando
[88] Fuente: CEIT
[89] https://es.wikipedia.org/wiki/Cifrado_(criptograf%C3%ADa)
[90] https://es.wikipedia.org/wiki/Certificado_digital
[91] https://es.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_27001
https://www.normaiso27001.es/
https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0071320

seguridad de la información, y directrices específicas para la protección de infraestructuras críticas a menudo se encuentran en legislaciones nacionales y regionales.

En resumen, mientras que la era de la conectividad ha abierto nuevas oportunidades para la eficiencia y la integración de sistemas industriales, también ha planteado la necesidad crítica de proteger estos sistemas contra amenazas cibernéticas. La implementación de sólidas medidas de ciberseguridad es esencial para asegurar que la revolución del IoT se traduzca en beneficios netos para la industria y la sociedad en general.

8 Aplicaciones

Las primeras aplicaciones robóticas fueron en la industria del automóvil hace unos 40 años. Los robots se introdujeron de una forma masiva en aplicaciones de manipulación, soldadura puntos, soldadura arco y aplicación de plásticos en todas las plantas de automóviles. Posteriormente los robots industriales se extendieron masivamente a las industrias auxiliares suministradoras de componentes, dentro de la cadena de suministro, que denominamos Tier-1 y Tier-2([92]).

Desde hace unos 15 años se empezaron a introducir masivamente en otros sectores como la alimentación y bebidas y así sucesivamente se han ido extendiendo a casi todo el resto de los sectores industriales. A medida que los volúmenes de fabricación aumentaban los precios de los robots iban adaptándose a nuevos mercados y hoy pueden verse ya en muchas empresas pequeñas y medianas. Especialmente en Europa el reto de la caída de natalidad junto con las necesidades de reindustrialización está abriendo el sector de la robótica industrial a numerosas nuevas aplicaciones y sectores.

Aunque originalmente los robots comenzaron a utilizarse en el sector del automóvil en la actualidad se usan ya en otros numerosos sectores, siendo un elemento indispensable en una gran parte de los procesos de fabricación.

Junto con las aplicaciones tradicionales, cada vez más hay otras nuevas en las que si bien la utilización del robot no se realiza a gran escala, si se justifica su aplicación por las condiciones ide trabajo (ambientes contaminados, salas asépticas, construcción, etc.) o la elevada exigencia en cuanto a calidad y repetitividad de los procesos a realizar.

La distribución de robots de IFR del año 2023 nos da una idea de la distribución actual de robots por aplicaciones.

El actual esquema de clasificación de aplicaciones IFR se presentó originalmente en 2004. En World Robotics 2020 ([93]), se simplificó la rama de *montaje y desmontaje* (ver Tabla *4*, del anexo), presentando las aplicaciones por clase y área de aplicación.

La implantación de un robot industrial exige un detallado analizar las ventajas e inconvenientes de la introducción del robot. Muchas veces será preciso adaptar el entorno al robot para hacer viable la aplicación.

---

[92] Gestión de la continuidad de la cadena de suministro: https://www.controll-it.de/es/cadena_de_suministro

93 IFR presents World Robotics Report 2020 - International Federation of Robotics: https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe

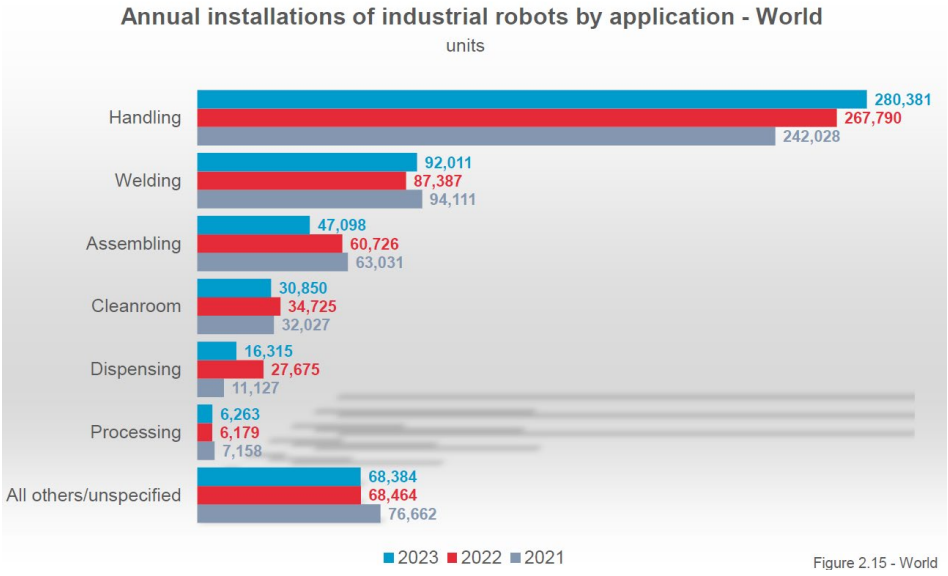


Figura 45: Estadísticas de aplicaciones robóticas aportada por world robotics[94].

Dentro de listado de aplicaciones se puede destacar como las más habituales y ampliamente utilizadas las siguientes:

- Soldadura por Puntos y Arco
- Aplicación de materiales (Pintura y otros)
- Aplicación de sellantes y adhesivos
- Alimentación de máquinas (carga/descarga)
- Proceso (Lijado, pulido y otras)
- Corte
- Montaje
- Paletizado
- Trabajos en fundición.
- Control de calidad
- Otras: Nuevos Sectores Industriales de Aplicación

Para la elección de un robot, habrá que considerar diferentes aspectos como espacio de trabajo, velocidad de carga, capacidad de carga, costes del propio robot y los costes asociados (consumo, mantenimiento, repuestos y otros, así como la vida útil del robot). Con la actual tendencia del mercado a la sostenibilidad de los procesos cada vez es más importante considerar además del coste del robot el resto de los costes asociados. El TCO (Total Cost of Ownership) determina el coste total de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida. A continuación, se presentan las aplicaciones más habituales en robótica industrial.

8.1 Soldadura Puntos y Arco

La industria del automóvil ha sido la gran impulsora de la robótica industrial, empleando la mayor parte de los robots instalados hoy día. La tarea robotizada más habitual en las plantas de automóvil ha sido la soldadura por puntos y en la industria auxiliar del automóvil la soldadura por arco, aunque también cada vez más frecuente la soldadura por puntos.

[94] Fuente: World robotics

- **Soldadura Por Puntos:** En este proceso, se unen dos piezas metálicas mediante puntos de soldadura que básicamente cosiste en pasar una corriente que funde el material de las dos piezas en un punto utilizando pinzas de soldadura con dos electrodos (fijo y móvil) que ejercen una presión en las chapas mientras pasa la corriente de soldadura que funde el material. Las pizas de soldadura pueden ser embarcadas en el robot que es cuando el robot mueve la pinza de soldadura a la pieza a soldar (normalmente carrocerías) o las pinzas de soldadura pueden ser estáticas y el robot manipula la pieza y la lleva al punto de soldadura (normalmente componentes móviles u otros elementos).

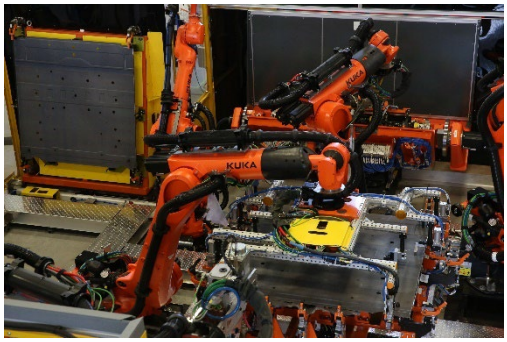


Figura 46: Robots soldado por puntos[95].

- **Soldadura Arco**: La soldadura por arco robotizada es un proceso que utiliza robots equipados con una pistola de soldadura para realizar operaciones de soldadura similar a la soldadura por arco manual. Estos robots emplean electricidad para crear un arco eléctrico entre el hilo de soldadura y la pieza de trabajo, lo que genera el calor necesario para fundir y unir los metales con el hilo fundido. Beneficios de la soldadura por arco robotizada (Figura 47):
    - Mayor productividad: Los robots pueden trabajar las 24 horas del día sin fatiga, lo que aumenta significativamente la producción.
    - Mejora de la calidad: Los robots mantienen una precisión y consistencia superiores, reduciendo errores y defectos en las soldaduras.
    - Ahorro de costos: Al reducir la necesidad de mano de obra y minimizar el desperdicio, los robots pueden disminuir los costos operativos.

Muy relacionada con la soldadura, la fabricación aditiva se presenta como alternativa a procesos de fabricación tradicionales donde se parte de un bloque de material, eventualmente acero, que se mecaniza para conseguir la pieza. En el caso de fabricación aditiva usando robots, existen distintos métodos como puede ser la cama de polvos, deposición de polvos y/o deposición de hilo que se va fundiendo (Figura 48).

[95] Fuente: izquierda (FANUC Iberia S.L.U.), derecha (KUKA)

Figura 47: Soldadura por arco con un robot colaborativo (arriba-izquierda)[96] , con un robot industrial (arriba-derecha) [97] y con un robot industrial en combinación con un plato (abajo)[98].

Figura 48: Celda de fabricación aditiva por deposición de polvo metálico[99].

8.2 Aplicación de materiales (Pintura y otros)

El acabado superficial (pintura, esmalte) con fines decorativos o de protección, es una parte crítica en muchos procesos de fabricación. Su empleo esta generalizado en la fabricación de automóviles, electrodomésticos, muebles, etc ya que casi todo lo que vemos alrededor nuestro está pintado o tratado con diferentes materiales.

Además, el entorno normalmente es peligroso por la presencia de pintura, disolventes y otros elementos químicos que crean una atmósfera tóxica. Estas circunstancias hacen que la pintura y operaciones

[96] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[97] Fuente: Yaskawa Ibérica S.L.U.
[98] Fuente: KUKA
[99] Fuente: CEIT

similares, sean proceso muy interesantes para la robotización. Además, se gana en cuanto a la homogeneidad del proceso y la calidad del acabado, así como el ahorro de materiales de pintura.

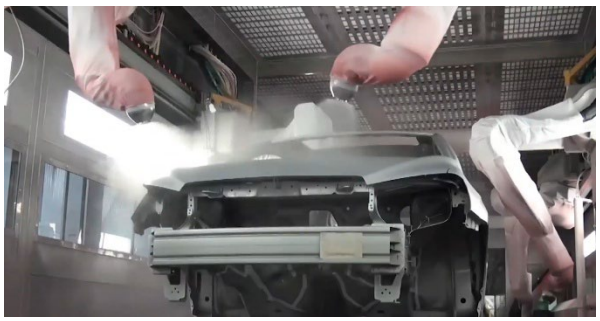
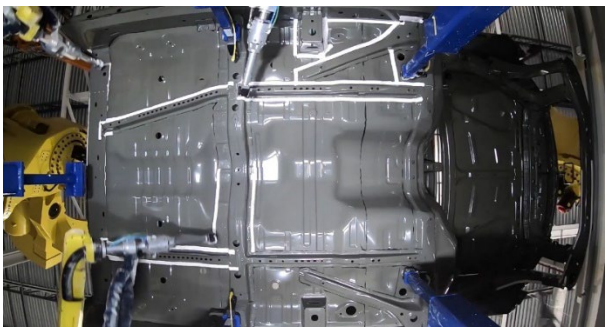


Figura 49: Aplicación de pintado robotizado[100].

8.3 Aplicación de sellantes o adhesivos

Los robots son frecuentemente utilizados para la aplicación de cordones de sellante o adhesivos (sellante de ventanas y parabrisas) y material anticorrosión (en los bajos del vehículo y en las zonas de posible entrada de agua, etc.) en la industria de automoción. También es muy habitual usar másticos u otro tipo de sellantes en diferentes componentes

Es muy importante poder sincronizar la velocidad del robot y el caudal de material aportado para obtener cordones de calidad por lo que los robots suelen contar con opciones especiales de sellado y control de velocidad del punto de aplicación (TCP- Tool Center Point).



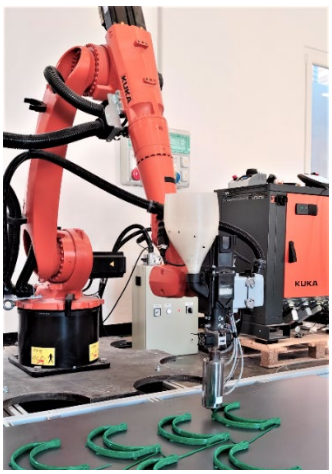


Figura 50: Aplicación automática de sellador[101] (izquierda), impresión de equipos de protección[102] (derecha).

[100] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[101] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[102] Fuente: KUKA/ Caracol-AM

8.4 Alimentación de máquinas

La alimentación de máquinas y especialmente de máquina herramienta (centros de mecanizado, tornos, fresadoras) es otra tarea de manipulación de posible robotización que cada vez es más frecuente. ESte tipo de aplicaciones de carga/descarga cada vez es más habitual por la dificultad de encotrar personal para este tipo de trabajos que es muy rutinario y con poco valor añadido.

Atención especial merece la aplicación del robot en células flexibles de mecanizado, que han adquirido gran auge en los últimos años. El robot es el complemento ideal de estas máquinas.

Además, con las distribuciones adecuadas y dependiendo de los tiempos de ciclo un robot puede atender a diferentes máquinas en una misma zona de trabajo. Incluso en muchos casos se pueden añadir raíles en suelo o en altura que permiten al robot trasladarse a diferentes zonas de trabajo

Figura 51: Alimentación de máquina/machine tending mediante robots[103].

8.5 Procesado (Lijado, pulido y otras)

Hay diferentes operaciones que se han desarrollado hace años aprovechando nuevos desarrollos de robótica industrial como han sido la simulación y programación off line, el control de fuerza, el guiado manual de robots y otra serie de tecnologías como TCP remoto.

Algunos fabricantes de robots disponen de hardware y software propio para estas aplicaciones y otros prefieren trabajar con equipos auxiliares de terceros.

Dependiendo de la aplicación las herramientas pueden ser embarcadas en el propio robot o en otros casos el robot puede manipular la pieza a procesar y moverla a la herramienta de porceso (Lijadora, rebabadora, pulidora).

Figura 52: Robot puliendo[104].

[103] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[104] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.

8.6 Corte

Aunque a veces se pueden considerar aplicaciones de procesado el corte de materiales mediante el robot es una aplicación reciente que cuenta con notable interés. Como en el caso anterior hay diferentes operaciones que se han desarrollado hace años aprovechando los nuevos desarrollos de robótica industrial. Entre los procesos más conocidos de corte con robots dependiendo del tipo de material a cortar los más conocidos son oxicorte, plasma, láser y chorro de agua.

La gran evolución de la tecnología láser, así como la disminución de coste de los equipos de laser y robots han hecho aparecer en el mercado numerosas aplicaciones basadas en tecnología láser. Varios fabricantes de robots han desarrollado modelos de alta rigidez, precisión y repetitividad para este tipo de procesos.

En estas aplicaciones los robots muchas veces se encuentran colgados en estructuras para un mejor acceso y mantenibilidad de los sistemas.

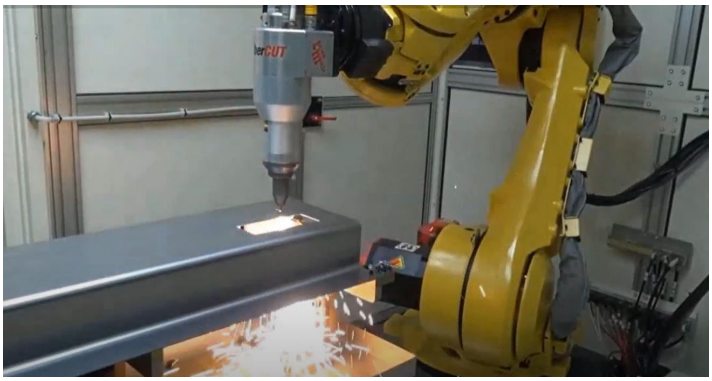


Figura 53: Corte por láser robotizado[105].

8.7 Montaje y Manipulación

Las operaciones de montaje en muchos casos solían ser manuales. Con la dificultad actual de encontrar personal para este tipo de tareas y la necesidad de reducción de costes este tipo de aplicaciones cada vez son más habituales.

Además, cada vez los cambios en los productos y el lanzamiento de nuevos modelos son más frecuentes por lo que se necesita una gran flexibilidad y aquí el robot es un elemento fundamental.

Estos procesos suelen ir acompañados de elementos auxiliares de preparación como alimentadores, vibradores y otros periféricos. En muchos casos se emplea visión artificial que al igual que otras tecnologías cada vez son más habituales en los procesos robotizados por la simplificación del entorno que producen y la flexibilidad que permiten.

La visión es cada vez más frecuente y hay fabricantes de robots que dotan con tecnología propia de visión a sus robots.

Los robots tipo SCARA ha alcanzado gran popularidad en este tipo de tareas por su bajo coste y buenas características. El sector de la electrónica es un gran usuario de este tipo de robots.

[105] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.

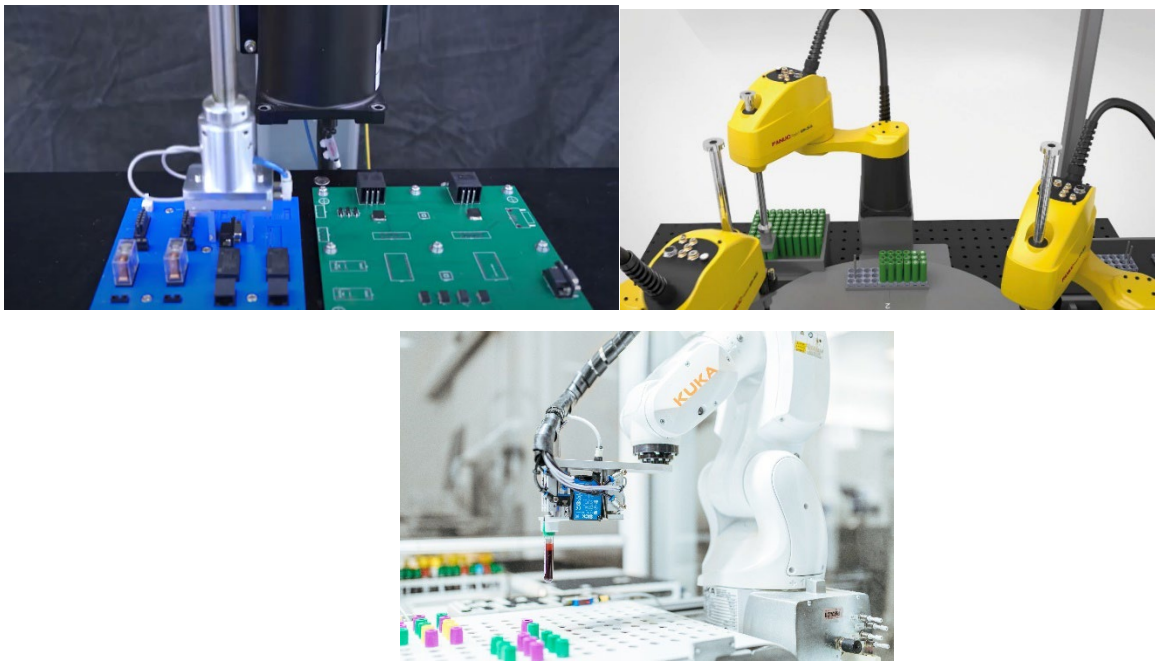


Figura 54: Aplicaciones de montaje (arriba)[106], y manipulación de tubos de ensayo de muestras de sangre (abajo)[107].

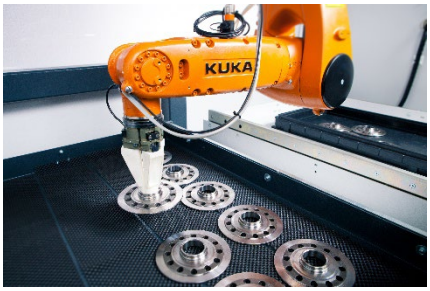


Figura 55: operación de picking[108].

8.8 Paletización/manipulado

La paletización es un proceso que se ha disparado en la última década especialmente en el sector de alimentación y bebidas La disminución del coste de los robots y la experiencia del sector del automóvil ha hecho que las ingenierías desarrollen muchas nuevas aplicaciones para este sector entre otros. Casi todos los productos que llegan a los almacenes, tiendas y superficies comerciales van en pallets. Este proceso era un gran consumidor de mano de obra poco cualificada y es uno de los sectores que más ha crecido en los últimos años. Si hace una década lo habitual era ver este tipo de robots en grandes multinacionales del sector de la alimentación, la bebida, la cosmética y otros sectores en los últimos años las pequeñas y medianas empresas han empezado a robotizar este tipo de procesos por su sencillez y coste controlado.

Además, en este campo ha irrumpido la robótica colaborativa ya que para muchos procesos de no muy alta cadencia y de peso limitado (Hasta unos 35 kg) los robots colaborativos han abierto un importante nicho de mercado por el que muchos fabricantes compiten.

---

[106] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[107] Fuente: KUKA
[108] Fuente: KUKA

Estas aplicaciones se han extendido al pick a place y al encajado y hoy todos los fabricantes de robot tienen líneas de producto para pick and place, encajado y paletizado.

A raíz de la pandemia el sector del e-commerce se ha disparado y es ahí donde este tipo de aplicaciones están creciendo más rápido.

Figura 56: Paletizado a través de un robot colaborativo[109] y uno industrial[110].

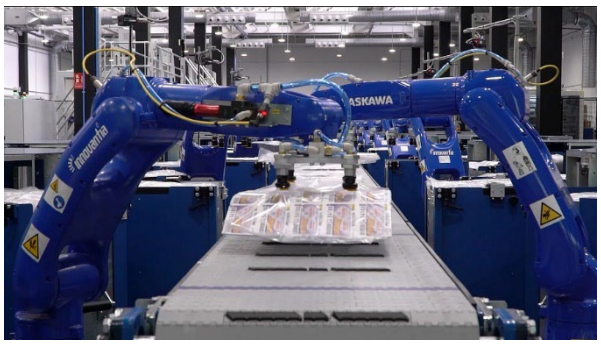
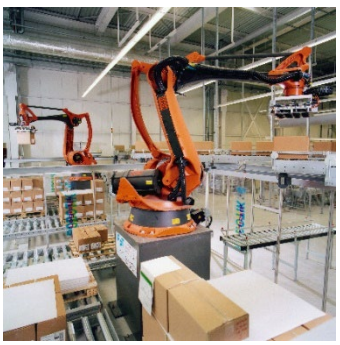


Figura 57: Manipulado de billetes de lotería[111]



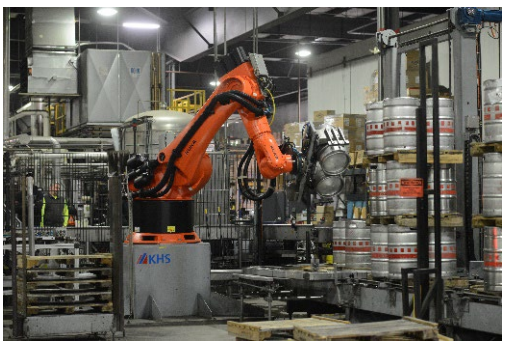


Figura 58: Otros ejemplos de paletizado[112]

[109] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[110] Fuente: Yaskawa Ibérica S.L.U.
[111] Fuente: Yaskawa Ibérica S.L.U.
[112] Fuente: KUKA

8.9 Trabajos en fundición

La fundición fue uno de los primer proceso robotizados por el tipo de entorno y las condiciones de trabajo. El robot se usa en:

- El trasporte de la colada a los moldes.
- La extracción y transporte de moldes y piezas del molde.
- La limpieza y mantenimiento de los moldes

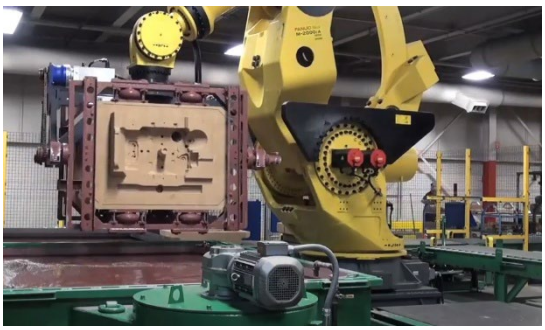


Figura 59: Robot en trabajos de fundición[113].

8.10 Control de Calidad

La tendencia a conseguir una completa automatización de la producción abarca todas las etapas de ésta, inclusive el control de la calidad. El robot industrial puede participar en esta tarea usando su capacidad de posicionamiento y manipulación. Así, transportando en su extremo un palpador, puede realizar el control dimensional de piezas ya fabricadas. Para ello el robot toca con el palpador varios puntos claves de la pieza.

A partir del conocimiento que en todo instante tiene la unidad de control del robot de la posición y orientación de su extremo, se obtienen los datos relativos a la posición espacial de los puntos determinados de la pieza. Estos datos son utilizados para registrar posibles desviaciones sobre los valores deseados.

Otras posibles aplicaciones del robot en el control de calidad consisten en utilizar a éste para transportar el instrumental de medida (ultrasonidos, rayos X, etc.) a puntos concretos de la pieza a examinar. La situación de posibles defectos detectados puede registrarse y almacenarse a partir, como antes, de la propia unidad de control de robot (ver siguiente figura).

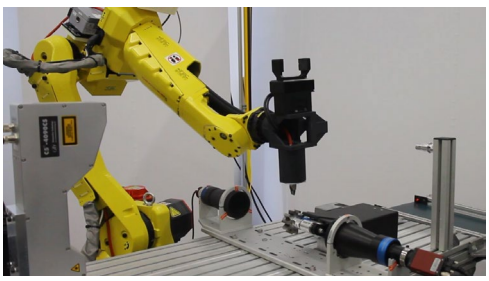


Figura 60: Celda de ensayos no destructivos basado en corrientes de Barkhausen para medir propiedades mecánicas aplicando técnicas NDT[114].

[113] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.
[114] Fuente: CEIT

Por último, el robot puede usarse como mero manipulador encargado de clasificar piezas según ciertos criterios de calidad (piezas correctas e incorrectas, por ejemplo). En este caso, el control y decisión de a qué familia pertenece la pieza se hace mediante un sistema especifico, capaz de comunicarse con el robot (visión artificial).

8.11 Otros: Nuevos sectores industriales de aplicación

En los últimos años se están utilizado muchos robots en tres sectores que se han desarrollado mucho después de la pandemia como el Vehículo Eléctrico, las baterías y el e-commerce.

En muchas de estas aplicaciones se utilizan robots similares en los utilizados en otros proyectos de los mencionados anteriormente. Son proyectos nuevos, pero con el uso de robots tradicionales industriales que se adaptan a esos procesos.

Un campo muy importante de desarrollo que está simplificando el uso de esos robots en los nuevos procesos industriales es el uso de visión artificial y de procesos de aprendizaje basados en IA como el machine learning y el Deep learning.

Durante la pandemia de COVID y posteriormente el e-commerce se ha disparado creando oportunidades para que las ingenerías proporcionen valor agregado en los servicios para sus clientes tales como, gestión de almacenes, devolución de pedidos, clasificación de productos, etiquetado, kitting, embalaje y reciclado usando soluciones robotizadas.

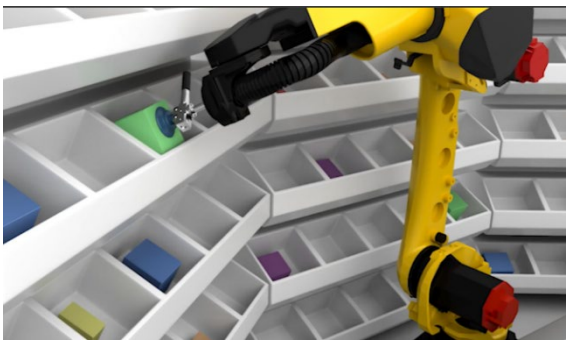


Figura 61: Almacén robotizado[115].

Las aplicaciones de la robótica examinadas anteriormente responden a los sectores que, como el del automóvil o el de la industria auxiliar e industrial general, han sido desde hace 30 años usuarios habituales de los robots industriales. En general estos procesos han sido bastante estructurados y repetitivos con entornos controlados.

Sin embargo, existen otra serie de aplicaciones en entornos no industriales, con entornos de trabajo muy diversificados y no repetitivos en los que se está intentando implementar soluciones robotizadas. Especialmente en los últimos años se han producido grandes avances en visión artificial y en Inteligencia Artificial que están haciendo que proyectos que hace años se descartaban por su alta complejidad hoy puedan considerarse técnicamente factibles. Entre estos sectores podría citarse agricultura, construcción, entornos submarinos, minería, sector nuclear, defensa, espacio y otros.

También cabe destacar otros sectores no industriales que están teniendo un gran crecimiento como la medicina, la ayuda al cuidado de personas y otras aplicaciones del sector doméstico en los que se están

[115] Fuente: FANUC Iberia S.L.U.

implementando robots que en muchos casos se clasifican como robots de servicios y que es un sector que está experimentando un gran desarrollo.

9 Casos de Éxito

La presente sección cita brevemente casos de éxito emblemáticos que, a juicio de los autores representan un ejemplo de las tendencias de la automatización/robotización del siglo XXI, como colofón de la discusión abordada a lo largo de todo el artículo.

9.1 Soldadura con Arco con robot colaborativo (programación sencilla)

El usuario final es una PYME que tiene su negocio principal en la soldadura arco de series cortas y a medida para terceros. El problema principal asociado que se encuentra es que robotizar para series muy cortas con un robot industrial convencional es complejo para una industria pequeña/mediana pues los costes de reprogramación/modificación del layout son más altos que con un cobot. Para tal efecto se propuso al usuario final testear las ventajas que un cobot FANUC CRX aporta al mercado gracias a su guiado manual y cómo el robot es capaz de memorizar trayectorias. Éste hecho ayudó al usuario a que un operario/a con bajos conocimientos de programación pueda *dibujar* el cordón de soldadura y que el robot lo imite de forma precisa. Ésta es una gran ventaja pues permite tener una persona cualificada en temas de soldadura compleja, pero sin necesidad de saber programación de robot cosa que a su vez aporta la flexibilidad de hacer nuevos cordones de soldadura de una forma rápida, sencilla y eficiente.

Reto/objetivo: Soldadura arco con cobot CRX.

Robotizar series pequeñas en soldadura por arco:

- Especializados en la fabricación de piezas metálicas mediante la soldadura y plegado CNC: Gestión integral del proyecto desde el inicio hasta la fabricación, montaje y entrega final.
- Dificultad en encontrar operarios cualificados para hacer soldadora manual.
- Dificultad en enseñar programación de robots a soldadores.

Cómo se ha resuelto reto:

- Se ha enseñado al soldador no especialista en robótica a programar el robot por guiado manual.
- El soldador crea cordones de soldadura mediante el guiado manual sin conocimientos previos de programación[116].

Mejoras obtenidas:

- Se destina el robot a soldar y llevar a cabo los cordones de soldadura de bajo valor añadido y le permite al operario, hacer únicamente los cordones de soldadura más complejos y con alto valor añadido.
- Aumento de productividad en la empresa.

[116] https://www.youtube.com/watch?v=4Wzw2KkGPrQ

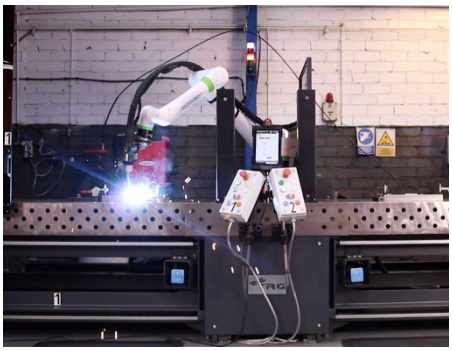


Figura 62: Celda de soldado con arco con un robot colaborativo[117].

9.2 REEPRODUCE – Desmantelamiento automatizado para la recuperación de tierras raras de productos RAEE

Europa es líder mundial en fabricar productos como motores de tracción para vehículos eléctricos. Sin embargo, para poder fabricarlos, son necesarios unos imanes permanentes procedentes de elementos derivados de tierras raras, o como se conoce por sus siglas en inglés REEs -Rare Earth Elements. En concreto, 17 metales especiales que se utilizan en diversas aplicaciones tecnológicas como motores eléctricos o tecnologías del ámbito de la energía renovable y de cuyo suministro Europa depende, particularmente, de China. De cara a los próximos años, se prevé que la demanda de estos elementos aumente de manera exponencial. Todo motor eléctrico tiene imanes permanentes. Los basados en Neodimio (Nd) son los más potentes. Actualmente EU depende completamente de China para la importación de tierras raras (entre ellas Nd).

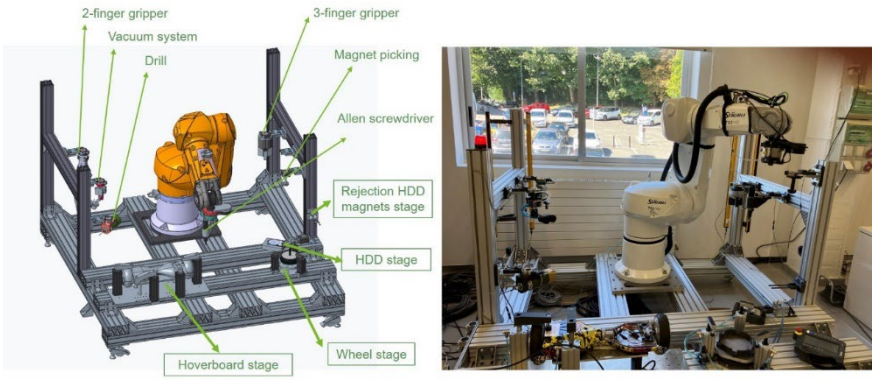


Figura 63: Celda de desensamblaje de REEPRODUCE[118].

Objetivo:

En este escenario, la Unión Europea quiere asegurar el suministro de estos materiales para generar autonomía en las cadenas de valor de estas tierras raras y los imanes en todo el continente. Para ello, el objetivo del proyecto europeo REEPRODUCE[119] tiene como fin establecer por primera vez una cadena de valor de reciclaje de RAEE (residuos y aparatos eléctricos y electrónicos) que contienen imanes permanentes basados en REEs. Lo que se pretende con el proyecto es poder aprovechar y procesar los imanes de los productos electrónicos reciclados para volver a reutilizarlos en nuevos productos. Europa

[117] Fuente: Talleres Rodríguez Gil SL, Lliçà de Vall (Barcelona)

[118] Fuente: CEIT

[119] Proyecto Europeo REEPRODUCE: https://www.reeproduce.eu/

tiene una cantidad enorme de productos EoL que contienen imanes, pero las tecnologías actuales de reciclado no permiten recuperarlos.

Dentro del objetivo general del proyecto, el objetivo específico de CEIT es el desarrollo de un sistema robótico que automatice el desmantelamiento de los productos cn el fin de extraer los imanes.

Reto:

El reto es tremendamente complejo por la variabilidad de los productos y modelos, su estado (roturas, suciedad) y la cantidad de elementos que contienen y que deben ser desmontados por la máquina antes de tener acceso a los imanes. Un hoverboard por ejemplo, tiene 15 pasos en su grafo de desmantelamiento, más de 30 elementos diversos a desmontar y diferentes operaciones de manipulación (taladrado, desatornillado, succión, grasping,…). Con tanta variabilidad, es imprescindible dotar de inteligencia artificial al sistema de percepción del robot (basado en cámaras) para poder abordar las tareas de detección, localización y reconocimiento de todos los elementos del producto con la suficiente precisión requerida por el robot.

Cómo se ha resuelto el reto:

CEIT trabaja con todas estas tecnologías (robótica, visión artificial e inteligencia artificial) para desarrollar un proyecto piloto para el desmantelamiento automatizado de RAEE como discos duros y productos de movilidad eléctrica personal/portátil como hoberboards. El desmantelamiento consiste en extraer, de manera automatizada, componentes (por ejemplo, el brazo del cabezal de escritura y el rotor del husillo del disco duro o las ruedas del patinete) que contengan imanes basados en Nd. Hasta el momento, se ha desarrollado un prototipo de desmantelamiento que automatiza las 15 tareas que consta el desmantelamiento del hoverboard y las 7 del disco duro. Entre todas estas tareas automatizadas, hay que manipular más de 50 elementos de distinta geometría, tamaño, color,… (tornillería, carcasas, batería, ruedas, elementos internos del HDD,…). En total se utilizan 6 herramientas distintas, 3 comerciales (taladro, garra de 2 dedos, garra de 3 dedos) y 3 diseñadas en CEIT (sistema de ventosas para vacío, desatornillador y herramienta de picking magnético). Todas las tareas son guiadas por visión artificial y modelos de IA que detectan/localizan los diferentes elementos y mandan las consignas de desmantelamiento al brazo robótico.

9.3 Adelantarte a los problemas de los motores en tiempo real

La planta de Ardagh en Madrid, produce 4 millones de latas y botellas para las empresas del sector de bebidas, se requirió una monitorización adicional de motores más allá del sistema que lleva por defecto la máquina. Los sistemas por defecto no ofrecían una monitorización en tiempo real.

Objetivo:

Para evitar paradas que no estaban previstas, desde SICK AG, se presentó al usuario final la solución de motores MPB10 que te permite ver los datos concretos de vibración, temperatura y golpes, que son potenciales indicadores de 1 posible fallo en el motor antes de que ocurran.

Reto:

El reto es evitar que los motores fallen y haya una parada en la producción. Una vez presentado, se dejaron varias muestras del sensor para poder instalarlo en el motor. Tras 3 semanas en funcionamiento, se pudieron evitar un total de 4 paradas, viendo los fallos con antelación. Se garantizo la excelencia productiva y poder llegar a los objetivos de producción establecidos por la planta.

Cómo se ha resuelto el reto:

Este sensor MPB10 se integra en el máster IO-Link SIG350 que permite la comunicación con la red PROFInet

que está conectado a una red que permite a los operarios ver las visualizaciones y con varias pantallas se ven las alertas en tiempo real mediante avisos

Se realizó 1 Function Block Factory, la representación en TIA Portal del sensor MPB10 para que la integración del sensor con el PLC fuera efectiva, permitiendo que el usuario final pudiera crear sus propios dashboards con las variables necesarias en el momento de hacer la integración.

Figura 64: Aplicación para evitar fallos en motores.

Los operarios en planta utilizan la herramienta de forma regular y asegura que el tiempo real ha sido crucial en la decisión porque una vez empieza el problema, la rapidez, efectividad en tiempo real permite evitar paradas y llegar a la excelencia productiva.

10 Tendencias de la automatización industrial

La automatización industrial se ha convertido en un elemento esencial para el desarrollo económico y social en el siglo XXI. Su impacto se observa en la capacidad de las industrias para adaptarse a un mercado global altamente competitivo y en constante cambio. En este contexto, la hiperautomatización, que implica una penetración más profunda de la automatización en las fábricas, juega un papel crucial. Esta tendencia se enfoca en transformar tareas que antes eran repetitivas y de alto volumen en procesos más dinámicos y flexibles, dentro de celdas estructuradas que responden a las demandas actuales de producción.

En el núcleo de esta transformación se encuentra la integración y la interconexión de las máquinas. La capacidad de las máquinas para comunicarse entre sí y compartir información en tiempo real optimiza tanto la producción como la gestión de recursos. Esta sinergia tecnológica no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite una producción más ágil, que se adapta rápidamente a las fluctuaciones del mercado y a las necesidades del consumidor.

La conectividad con la nube y las tecnologías de la información son fundamentales para sostener este avance. Al integrar sistemas industriales con plataformas en la nube, se facilita el acceso a datos y herramientas compartidas, lo que permite una gestión más dinámica de las operaciones. Esto también abre la puerta a innovaciones como el análisis de grandes volúmenes de datos, que son vitales para el mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento reduce significativamente la necesidad de intervenciones correctivas, mejorando la longevidad y el rendimiento tanto de las máquinas como de los productos.

La robótica colaborativa emerge como una solución clave para integrar la automatización con el elemento humano. En lugar de reemplazar a los trabajadores, estas tecnologías los complementan, permitiendo una colaboración efectiva entre humanos y máquinas. Esta sinergia no solo mejora la productividad, sino que también asegura un entorno de trabajo más seguro y ergonómico, donde las tareas peligrosas o tediosas son asumidas por robots, liberando a los trabajadores para que se concentren en tareas más creativas y complejas.

Una comunicación fluida entre humanos y máquinas es esencial para maximizar los beneficios de la automatización. La naturalización del lenguaje en la interacción con las máquinas permite que tanto operarios como programadores interactúen de manera más intuitiva y eficiente con los sistemas automatizados. Esto no solo facilita la capacitación de nuevos trabajadores, sino que también reduce las posibilidades de error humano en la programación y operación de las máquinas.

La robótica móvil representa un avance significativo hacia la flexibilidad de las fábricas. Con la capacidad de moverse entre diferentes celdas de producción, estos robots eliminan la dependencia de las cintas transportadoras tradicionales, ofreciendo una solución más adaptable y eficiente para la interconexión de celdas. Esta flexibilidad es especialmente valiosa para las pequeñas y medianas empresas (PYMES), que requieren soluciones más versátiles debido a sus limitaciones de inversión.

De la integración de la robótica colaborativa con la robótica móvil nace el concepto de robótica móvil manipulativa que permite al robot móvil no sólo transportar, si no también realizar operaciones más complejas con los objetos que transportan. Esta característica es crítica en las fábricas flexibles del siglo XXI para tareas intralogísticas y asistencia al operario humano.

La seguridad, tanto en términos de protección física de los operarios como de la integridad de los datos y sistemas, es una prioridad absoluta en la automatización industrial. Garantizar la seguridad de las operaciones no solo protege a los trabajadores, sino que también preserva la confidencialidad y la integridad de la información crítica para el negocio.

La interoperabilidad, facilitada por la adopción de estándares comunes, es otro componente esencial que permite a las empresas integrar nuevas tecnologías sin fricciones significativas. Esta capacidad para integrar diferentes sistemas y tecnologías es crucial para mantener la competitividad en un entorno industrial que evoluciona rápidamente.

La eficiencia energética se ha convertido en una consideración primordial, impulsada por la creciente conciencia sobre la sostenibilidad ambiental. La automatización contribuye a este objetivo mediante el uso de sistemas más inteligentes y optimizados que reducen el consumo de energía, ayudando a las empresas a ser más sostenibles y rentables a largo plazo.

La inteligencia artificial (IA) complementa la automatización al mejorar la toma de decisiones y optimizar los procesos. A través de algoritmos avanzados, la IA permite predecir problemas antes de que ocurran, aumentando la resiliencia y la eficiencia de las operaciones industriales.

Finalmente, el reciclaje de componentes y las tareas de des-ensamblaje son esenciales para fomentar una economía circular. La automatización en estos procesos no solo reduce el impacto ambiental de las operaciones industriales, sino que también ofrece nuevas oportunidades para el ahorro de costos y la innovación sostenible.

En resumen, la automatización industrial no solo transforma los procesos productivos, sino que también redefine el papel de las industrias en la sociedad moderna. Al liberar a los seres humanos de tareas repetitivas y peligrosas, se abre la puerta a empleos más cualificados y creativos, lo que a su vez impulsa la

innovación y el desarrollo económico. La clave del éxito en este nuevo paradigma reside en una adopción estratégica y equilibrada de la tecnología, que empodere tanto a las grandes empresas como a las PYMES, asegurando que todos puedan beneficiarse de los avances en la automatización.

Anexo

Tabla 4: Clasificación de aplicaciones según la IFR[120]

Clase IFR	Ámbito de aplicación	Definiciones
110	Manipulación y mantenimiento de máquinas	Procesos auxiliares para la operación principal (el robot no procesa la operación principal directamente)
111	Manipulación en fundición de metales	incluida la fundición por matriz-punzon
112	Manipulación de plásticos	también las operaciones de inserción para el moldeo por inyección
113	Manipulación en estampación/forja/curvado	
114	Manipulación en máquinas herramienta	
115	Manipulación de máquinas para otros procesos	Por ejemplo, manipulación durante el montaje, operaciones de manipulación durante la producción de vidrio o cerámica o la producción de alimentos. Los robots que manipulan piezas contra pistolas de soldadura con TCP externo (es decir, antorcha MIG/MAG o pistola de puntos) deben anotarse en la clasificación de soldadura adecuada (es decir, 161 para soldadura por arco o 162 para soldadura por puntos) y no se contabilizarán en la clasificación de operaciones de manipulación.
116	Manipulación para medición, inspección y ensayo	triaje, control de calidad, calibración
117	Manipulación para paletización	todos los sectores, todos los tipos y tamaños de palets
118	Manipulación para embalaje, picking y colocación	por ejemplo, operaciones durante el embalaje primario y secundario
119	Manipulación de materiales.	por ejemplo, transporte, manipulación durante el proceso de trabajo en fundición de arena
120	Manipulación y manipulación sin especificar	se desconoce la clase exacta IFR 11X
160	Soldadura en general	todos los materiales
161	Soldadura por arco	
162	Soldadura por puntos	
163	Soldadura por láser	
164	Otras soldaduras	or ejemplo, soldadura por ultrasonidos, soldadura por gas, soldadura por plasma
165	Soldadura blanda	Soldadura comúnmente usada en industria electrónica
166	Soldadura	sin especificar se desconoce la clase exacta IFR 16X
170	Dispensación	

[120] FUENTE: IFR

171	Pintura y esmaltado	aplicación de laca (capa superficial) por zonas
172	Aplicación de adhesivo, material de sellado o similar	por puntos y por líneas
179	Dispensación de otros/pulverización de otros	por ejemplo, recubrimiento en polvo, aplicación de agente desmoldeante, medición de áreas aplicación de adhesivo, pulverización de cera
180	Dispensación no especificada	se desconoce la clase exacta de IFR 17X
190	Procesado	cambio de dureza del material, el robot conduce la pieza o la herramienta, retirada de material
191	Corte por láser	
192	Corte por chorro de agua	
193	Corte mecánico/ rectificado/ desbarbado/ fresado/ pulido	
198	Otras transformaciones	por ejemplo, corte por gas/plasma, taladrado, plegado, punzonado, cizallado
199	Transformación no especificada	se desconoce la clase exacta de IFR 19X
200	Montaje y desmontaje	Ensamblaje o desensamblaje permanente de varios elementos
201	Montaje	ensamblar, montar, atornillar, remachar, revestir, pegar
203	Desmontaje	reciclado, retirada de la cubierta tras el tratamiento
209	Montaje y desmontaje sin especificar	se desconoce la clase exacta de IFR 20X
900	Otros	
901	Sala blanca para FPD (Flat panel display)	Aplicaciones de sala limpia para pantallas planas
902	Sala blanca para semiconductores	Aplicaciones de sala limpia para semiconductores
903	Sala blanca para otros	Otras aplicaciones para salas blancas
905	Otros	Aplicaciones no mencionadas anteriormente, incluidas las aplicaciones que se consideran robótica de servicio
999	Sin especificar	la aplicación es desconocida